

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Dissertação

**Avaliação da Cromatografia de Pfeiffer
como ferramenta para a interpretação da qualidade do solo**

Stevan Mendes Pinheiro

Pelotas, 2023

Stevan Mendes Pinheiro

**Avaliação da Cromatografia de Pfeiffer
como ferramenta para a interpretação da qualidade do solo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Gustavo Schiedeck

Coorientadora: Dr^a. Vanessa Sacramento Cerqueira

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P654a Pinheiro, Stevan Mendes

Avaliação da cromatografia de Pfeiffer como ferramenta para a interpretação da qualidade do solo / Stevan Mendes Pinheiro ; Gustavo Schiedeck, orientador ; Vanessa Sacramento Cerqueira, coorientadora. — Pelotas, 2023.
99 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Metodologia alternativa. 2. Indicadores de qualidade do ambiental. 3. Manejo ecológico. 4. Provid. 5. Bait-lamina. I. Schiedeck, Gustavo, orient. II. Cerqueira, Vanessa Sacramento, coorient. III. Título.

CDD : 631.6

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Stevan Mendes Pinheiro

Avaliação da cromatografia de Pfeiffer
como ferramenta para a interpretação da qualidade do solo

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 26 de maio de 2023

Banca examinadora:

Pesq. Dr. Gustavo Schiedeck (Orientador)
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas.

Pesq. Dr. Ernestino de Souza Gomes Guarino
Doutor em Botânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Aline Ritter Curti
Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Dedico este trabalho a todos aqueles que um dia acreditaram em mim, nos meus sonhos e desejos.

Agradecimentos

Gostaria primeiramente agradecer a Oxalá e a todos os Orixás e guias que me ajudaram nesse percurso, e não menos importante, a minha família, por todo amor, carinho e compreensão que tiveram por mim durante todo esse tempo.

Agradecer também a todas as pessoas que me ajudaram a desenvolver esse trabalho, não só na prática, mas também na escrita, em especial a colega Daiane Krewer a melhor dupla que poderia ter formado durante esse mestrado.

Ao meu orientador Gustavo Schiedeck, a minha coorientadora Vanessa Cerqueira, que em momento algum mediram esforços para me ajudarem e aceitaram esse desafio. Suas contribuições, questionamentos e cobranças deram suporte para o meu aprendizado como ser humano e profissional.

Agradecer a banca, ao Ernestino, a Aline e a Patrícia Lovatto por terem se prontificado a me ajudarem a qualificar.

A minha amada e companheira Mayara, agradeço do fundo do coração a pessoa incrível que tu és, e uma das mais importantes da minha vida. Obrigado por ter me incentivado do começo ao fim.

Aos meus amigos e colegas, não irei citar nomes para não esquecer ninguém, mas sabem o quão importantes foram me apoiando e escudando minha reclamações.

E não podia faltar a melhor pedagoga (que muitas vezes fez o papel de psicóloga) ela que me ajudou a explorar diversos meios para que eu conseguisse realizar esse trabalho, muito obrigado Thaiany.

Por fim, serei eternamente grato ao PPGSPAF, por ter me acolhido e ajudado a explorar esse novo campo de trabalho. Aos professores que compartilharam de seus conhecimentos através das disciplinas. E muito obrigado a UFPEL por ser “minha casa” nesses últimos 10 anos e a CAPES por ajudar no meu aperfeiçoamento profissional concedendo bolsas que me ajudaram até aqui a permanecer na cidade.

*“A cromatografia de Pfeiffer é um indicador eurrítmico para o
solo, água, microbiota, flora, fauna e sociedade”
Sebastião Pinheiro.*

Resumo

Pinheiro, Stevan Mendes. **Avaliação da cromatografia de Pfeiffer como ferramenta para interpretação da qualidade do solo.** Orientador: Gustavo Schiedeck. 2023.99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Com o crescente aumento na procura e nos estudos de métodos de produção de baixo impacto ambiental, se faz necessário estudar alternativas que corroborem tanto com o aumento da produtividade quanto com a conservação e preservação do meio. O objetivo do trabalho foi avaliar o uso da cromatografia de Pfeiffer como indicadora da qualidade biológica do solo para o cultivo de mandioca, além de monitorar os padrões da cromatografia de Pfeiffer no cultivo de mandioca, analisar a atividade biológica do solo nos diferentes estádios de desenvolvimento dos cultivos e práticas de manejo. Em suma, correlacionar padrões da cromatografia de Pfeiffer com atributos biológicos, físicos e químicos do solo em sistemas de produção de base ecológica. O trabalho foi desenvolvido entre março e abril de 2021, nas áreas experimentais e laboratórios da Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado, em Pelotas/RS. Para avaliar a diversidade da fauna edáfica foi utilizado o método Provid e para a atividade alimentar foi avaliada com uso de bait-laminas, já para a Cromatografia de Pfeiffer e as análises físico-químicas coletou-se amostras de solo de 0-10 cm de profundidade, a cromatografia seguiu o a mesma metodologia descrita por Rivera e Pinheiro. Foram analisadas quatro áreas, sendo duas de plantio orgânico de mandioca e duas áreas de floresta adjacente sendo coletadas quatro amostras por área, totalizando dezesseis amostras. Posteriormente o aplicou-se uma chave de interpretação a partir das características visuais dos cromas, da mesma forma utilizou-se teste de correlação de Pearson para as dezesseis amostras e as características físicas e químicas do solo, assim como riqueza e abundância da fauna edáfica. Para os dados ecológicos foram coletados um total de 4536 organismos nas áreas de cultivo de mandioca e de floresta, sendo possível classificá-los em 18 grupos diferentes. As ordens Collembola e Diptera foram os grupos que predominaram em ambas as áreas, correspondendo respectivamente a 54,92% e 27,38%. Através da correlação de Pearson foi possível averiguar que a argila, matéria orgânica e o fósforo foram às características do solo que mais influenciaram nas zonas dos cromatogramas. Por fim, usando a técnica de cromatografia de Pfeiffer pode-se constatar que apesar dos índices ecológicos estarem próximos à cromatografia foi a melhor ferramenta para que pudesse distinguir cada ambiente a partir de suas particularidades.

Palavras-chave: Metodologia alternativa; Indicadores de qualidade do ambiental; Manejo ecológico; Provid; Bait-lamina.

Abstract

Pinheiro, Stevan Mendes **Evaluation of Pfeiffer chromatography as a tool for the interpretation of soil quality**. Advisor: Gustavo Schiedeck. 2023. 99f. Dissertation (Masters in Agronomy) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

With the growing increase in demand and studies of production methods with low environmental impact, it is necessary to study alternatives that support both the increase in productivity and the conservation and preservation of the environment. The objective of this work was to evaluate the use of Pfeiffer chromatography as an indicator of the biological quality of the soil for cassava cultivation, in addition to monitoring Pfeiffer chromatography standards in cassava cultivation, analyzing the biological activity of the soil at different stages of development of crops and management practices. In short, to correlate Pfeiffer chromatography patterns with biological, physical and chemical soil attributes in ecologically based production systems. The work was carried out between March and April 2021, in the experimental areas and laboratories of the Cascata Experimental Station, Embrapa Clima Temperado, in Pelotas/RS. To evaluate the diversity of the edaphic fauna, the Provid method was used, and for the feeding activity, it was evaluated using bait-slides. depth, the chromatography followed the same methodology described by Rivera and Pinheiro. Four areas were analyzed, two of which were organic cassava plantations and two adjacent forest areas. Four samples were collected per area, totaling sixteen samples. Subsequently, an interpretation key was applied from the visual characteristics of the chromas, in the same way Pearson's correlation test was used for the sixteen samples and the physical and chemical characteristics of the soil, as well as the richness and abundance of the edaphic fauna. For the ecological data, a total of 4536 organisms were collected in the cassava and forest areas, making it possible to classify them into 18 different groups. The orders Collembola and Diptera were the groups that predominated in both areas, corresponding respectively to 54.92% and 27.38%. Through Pearson's correlation it was possible to verify that clay, organic matter and phosphorus were the soil characteristics that most influenced the zones of the chromatograms. Finally, using Pfeiffer's chromatography technique, it can be seen that despite the ecological indices being close to chromatography, it was the best tool to distinguish each environment based on its particularities.

Keywords: Alternative methodology; Environmental quality indicators; Ecological management; Provid; Bait-lamina.

Lista de Figuras

Figura 1-	Áreas de coleta de amostras em cultivo de mandioca e em áreas de florestas adjacentes. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021. Os quadriláteros representam a posição das áreas amostradas e os círculos brancos a localização aproximada da coleta. Fonte: Google Maps,2022.....	36
Figura 2-	Representação do teste de cromatografia circular de Pfeiffer. Adaptada de Kokornaczyk et al. (2018).....	40
Figura 3-	Armadilha Provid, é constituída por uma garrafa de plástico tipo Pet com capacidade de dois litros, contendo quatro aberturas na forma de janelas com dimensões de 6 x 4 cm na altura de 20 cm de sua base.....	43
Figura 4-	Dimensões de uma bait-lamina de policloreto de vinila (PVC) com os 16 orifícios para preenchimento com a isca. Adaptado de Andre (2008).....	46
Figura 5-	Cromatografia de Pfeiffer da área A do cultivo de mandioca. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	48
Figura 6-	Cromatografia de Pfeiffer da área de Floresta A. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	49
Figura 7-	Cromatografia de Pfeiffer da área B do cultivo de mandioca. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	50
Figura 8-	Cromatografia de Pfeiffer da área de Floresta B. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	51
Figura 9-	Notas médias (n=4) das diferentes áreas analisada em relação à escala ordinal de qualidade (linhas vermelhas) proposta por Siqueira (2018). As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	53
Figura 10-	Notas médias (n=4) alcançadas em cada local avaliado considerando as diferentes zonas dos cromatogramas. As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	54

Figura 11- Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona central (ZC) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio (cmolc dm³); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm³); K, teor de potássio (cmolcdm³); Ca, teor de cálcio (cmolcdm³); Mg, teor de magnésio (cmolcdm³); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva (cmolcdm³); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.....

57

Figura 12- Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona interna (ZI) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio (cmolc dm³); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm³); K, teor de potássio (cmolcdm³); Ca, teor de cálcio (cmolcdm³); Mg, teor de magnésio (cmolcdm³); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva (cmolcdm³); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.....

60

Figura 13- Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona intermediária (ZINT) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio (cmolc dm³); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm³); K, teor de potássio (cmolcdm³); Ca, teor de cálcio (cmolcdm³); Mg, teor de magnésio (cmolcdm³); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva (cmolcdm³); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.....

62

Figura 14- Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona externa (ZE) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio (cmolc dm³); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm³); K, teor de potássio (cmolcdm³); Ca, teor de cálcio (cmolcdm³); Mg, teor de magnésio (cmolcdm³); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva (cmolcdm³); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.....

64

Figura 15- Matriz de correlação de Pearson entre as cromatografias (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm³); K, teor de potássio (cmolcdm³); Ca, teor de cálcio (cmolcdm³); Mg, teor de magnésio (cmolcdm³); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva (cmolcdm³); Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.....

67

Figura 16 Comparação entre diferentes estratégias e métodos de avaliação do solo em riqueza, abundância, diversidade, consumo alimentar e Cromatografia de Pfeiffer. As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....

69

Lista de Tabelas

Tabela 1-	Valores médio de variáveis de químicas e físicas dos solos nas diferentes áreas avaliadas (n=16), considerando a profundidade de 0-10 cm. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.....	38
Tabela 2-	Atributos presentes para a chave de interpretação segundo Siqueira (2018).....	41
Tabela 3-	Critérios de atribuição de notas conforme o grau de consumo da isca nos orifícios, de acordo com a norma ISO18311. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS.....	47

Sumário

1 Introdução	17
2 Revisão da Literatura	20
2.1 O solo e sua importância para a produção agrícola	20
2.1.1 Impacto do sistema de cultivo e das práticas de manejo	21
2.1.2 O manejo do solo nos sistemas de produção de base ecológica	22
2.2. Os serviços ambientais do solo	23
2.2.1 O solo no contexto dos sistemas de produção de base ecológica	24
2.3.2. Parâmetros biológicos, ecológicos e microbiológicos.	28
2.3.2.1 Atividade microbiana	29
2.3.2.2 Parâmetros físicos	30
2.3.2.3 Parâmetros químicos.....	31
2.4 A Cromatografia de Pfeiffer e sua utilização	32
3.1 Descrição do local de estudo	35
3.1.1 Áreas de cultivo de mandioca	36
3.1.2 Áreas de floresta adjacente	37
3.1.3 Variáveis climáticas e do solo	38
3.2 Cromatografia de Pfeiffer	39
3.2.1 Análise dos cromatogramas e a correlação com os atributos do solo.....	41
3.3 Avaliações da biota do solo	43
3.3.1 Diversidade da fauna epiedáfica pelo método Provid	43
3.4 Índices ecológicos de diversidade	44
3.5 Atividade alimentar da edafofauna pelo método bait lamina	45
3.5.1 Descrição do método e preparo das bait laminas	45
3.5.2 Instalação das bait-lamina e avaliação da atividade alimentar	46
4 Resultados e discussão.....	48
4.1 Avaliação dos cromatogramas	48
4.1.1 Análise qualitativa dos cromatogramas	48
4.2 Análise quantitativa dos cromatogramas.....	52
4.3 Análise quantitativa da Zona Central dos cromatogramas	56
4.3.1 Análise quantitativa da Zona interna dos cromatogramas	59
4.3.2 Análise quantitativa da Zona intermediária dos cromatogramas	61
4.3.3 Análise quantitativa da Zona externa dos cromatogramas.....	63
4.4 Análise quantitativa integrada dos cromatogramas.....	66

4.5 Notas da Cromatografia de Pfeiffer e parâmetros biológicos	68
5 Considerações finais	73
Referências	74
Apêndices.....	88

1 Introdução

Com o crescente aumento na procura e nos estudos de métodos de produção de baixo impacto ambiental, principalmente em decorrência do uso excessivo de adubação química, maquinário pesado e uso de agrotóxicos, se faz necessário estudar alternativas que corroborem tanto com o aumento da produtividade quanto com a conservação e preservação do meio ambiente.

Alguns autores como Gleissman (2000) e Primavesi e Primavesi (2018) consideram o solo um ambiente vivo, dinâmico e que faz parte do ecossistema, visão oposta do que é propagado principalmente pós-revolução verde, onde o solo é apenas um substrato para o plantio e que deve ser sempre acompanhado de insumos externos.

Um dos pontos principais da agricultura de base ecológica, os entrosamentos entre os seres vivos e o solo são o principal motor da fertilidade, respeitando a sucessão ecológica e as teias de interações em todos os níveis tróficos.

Com isso a capacidade produtiva do solo não está alinhada apenas a uma condição, como clima, por exemplo, mas está diretamente relacionada com uma série de fatores bióticos e abióticos. Para Hatt et al. (2016), a prática do uso de insumos externos deve ser minimizada, a fim de contribuir com o aumento da sustentabilidade ambiental da agricultura.

Para Altieri e Nicholls (2003), as práticas agrícolas de base ecológica visam explorar ao máximo as interações sinérgicas e complementares entre as culturas e animais, melhorando os processos, aumentando a abundância e a complexidade do solo. Os princípios agroecológicos pressupõem que se devem exaltar os processos que são base dos serviços ambientais cruciais para as atividades agrícolas, mantendo, ao mesmo tempo, a função produtiva da agricultura (MALEZIEUX, 2012).

Deve-se salientar que a produção de base ecológica não visa apenas à produção e o equilíbrio com a natureza, mas garantir a soberania alimentar da família que trabalha e vive da agricultura e da sociedade, sendo assim, melhora a qualidade de vida melhor para as pessoas envolvidas no trabalho do campo e da cidade.

Sendo assim, de acordo com Zanella et al. (2015), os princípios da Agroecologia podem assumir diversas formas de tecnologia, adaptando-se às circunstâncias ambientais, econômicas e sociais de cada sistema agrícola, de modo

que ao ser gerenciado e projetado com esses mesmos princípios, acabam por se tornar mais produtivos, diversificados, eficientes e resilientes. Béné et al. (2019) indicam que o foco deve ser a gestão dos recursos naturais e seu uso sustentável, porém é possível e necessário ampliar o horizonte da agricultura, englobando os aspectos econômicos, sociais e culturais.

A gestão sustentável da agricultura é de mais valia para se compreender as relações viscerais entre a fauna edáfica e o solo, a fim de entender os processos de ligados a decomposição, mineralização, estruturação do ambiente. Para Schonoover e Crim (2015), o solo tem que ser pensado como a fundação do ecossistema, pois é a partir da sua fertilidade que definirá o que o ecossistema será em termos de vida, tanto animal quanto vegetal, ainda que não seja o suficiente para a melhoria da fertilidade do solo, a adubação é um dos fatores, porém não o único. Outros fatores que favorecem a esse processo é a matéria orgânica, diversidade dos organismos do solo, correlação entre os macros e os micros nutrientes do solo e fatores abióticos, como por exemplo, umidade e temperatura.

Ainda que existam outros protetores da biodiversidade, como por exemplo, agricultura de base ecológica e sintrópica, a agricultura familiar tem um papel primordial, sendo responsáveis por proteger a biodiversidade também pela produção de alimentos de qualidade.

De acordo com Graeub et al. (2016), a contribuição da agricultura familiar para a segurança alimentar e para o desenvolvimento regional está mal documentada, uma vez que se tem a estimativa que a sua participação para a produção de alimentos ao redor do mundo seja próxima a 80%.

Atualmente, a agricultura familiar é a forma predominante no setor de produção de alimentos, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (TOADER; ROMAN, 2015). No Rio Grande do Sul, destacam-se a produção de milho, trigo, aveia, soja e principalmente de mandioca. De acordo com os dados do IBGE (2020) apontam uma diminuição de pelo menos 40% da área cultivada de mandioca, de 80,3 mil hectares para 47,9 milhões nos últimos 9 anos, 2011-2020, apesar da produtividade ter se mantido em torno de 16 t ha⁻¹. Porém, nos últimos anos a área cultivada no RS reduziu muito e por vários motivos, como por exemplo, o baixo retorno econômico, a dificuldade em adquirir material de qualidade além da falta de um manejo adequado para evitar as podridões das raízes.

Dessa maneira para Doran (2002) as pesquisas no manejo e qualidade do solo são extremamente importantes para garantir a sustentabilidade do agroecossistema, mesmo que ocorram impactos de magnitude variada é possível avalia-los através de indicadores de qualidade do solo, indicadores esses que são capazes de diagnosticar as consequências das alterações causadas pelas práticas agrícolas.

Dito isso, é imprescindível que haja uma mitigação dos impactos gerados pelas práticas agrícolas e para tal o monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos é fundamental para a melhoria do cultivo e do sistema.

Desse modo, pode-se perceber que o desenvolvimento de métodos de baixo custo e acessíveis que auxilie tanto técnicos e profissionais da área quanto os agricultores a monitorarem afim de que possam ter a melhor tomada de decisão sobre as práticas de manejo.

Técnicas de monitoramento do manejo do solo como a Cromatografia de Pfeiffer apresentam baixo custo e são de fácil compreensão, além da execução ser simples pode vir tanto substituir quanto agregar as análises convencionais de solo. Para Pinheiro (2011), Rivera e Pinheiro (2015) a Cromatografia de Pfeiffer é um método de separação física que busca a caracterização de misturas complexas, que permite a avaliação da qualidade de seus produtos, como a atividade biológica e suas interações com o solo, sendo um instrumento extremamente tecnológico e acessível para estudantes, técnicos e principalmente para os agricultores, permitindo atentar as transformações e intervenções do manejo.

Segundo Rivera e Pinheiro (2015) e Bezerra (2018) a Cromatografia de Pfeiffer é fruto de desenvolvimento e adaptação das cromatografias de papel e de partição, sendo seu princípio básico físico-químico é a de separação das substâncias pela diferença de solubilidade ao reagirem com o hidróxido de sódio e se comportarem como fase móvel e serem reveladas no papel com cores, raios e diversas formas pela impregnação do papel com nitrato de prata, seu agente fotoreativo, que representa a fase estacionária.

Nesse contexto o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso da cromatografia circular de Pfeiffer como instrumento auxiliar para a avaliação dos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, a partir da amostragem de áreas de floresta e de cultivo de mandioca de base ecológica.

2 Revisão da Literatura

2.1 O solo e sua importância para a produção agrícola

Um dos recursos naturais com maior disponibilidade para todos os seres vivos, o solo é composto por nutrientes e elementos que são essenciais para o desenvolvimento da vida. O solo funciona como uma base, um substrato para o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente para a formação de ecossistemas mais complexos.

Na agricultura o solo deve ser visto como o fundamento de um agroecossistema, pois é nele que as condições propícias para o desenvolvimento dos sistemas de produção agrícola estão. Para Doran e Parker (1994), promover a qualidade do solo é proporcionar que capacidade de funcionamento.

Contudo, com a crescente demanda por mais alimentos e, principalmente, por commodities, o uso do solo cada vez mais é posto à prova. Segundo Trindade-Santos e Castro (2021), aproximadamente 33% dos solos no mundo está em processo de degradação, por salinização, erosão, compactação, entre outros problemas, levando à perda de fertilidade, ao agravamento de enchentes e a problemas sociais e econômicos como o abandono das áreas de cultivo e êxodo rural.

Para Freitas et al. (2017), a redução da cobertura vegetal mais o uso intensivo do solo têm acarretado na degradação dos recursos naturais, afetando a fertilidade do solo. Pode-se notar o impacto causado pelo manejo incorreto através de avaliação nas características físicas, químicas e biológicas. De acordo com Laneelle (2015), um dos maiores desafios do século para a agricultura é o de conciliar a produção de alimentos, produzir mais e com melhor qualidade e, ao mesmo tempo, se adaptar aos impactos da alteração climática.

Para isso é necessário adaptar práticas e filosofias de manejo que visam à conservação dos recursos naturais do solo e do ecossistema. Para a FAO (2013) existe a necessidade ressignificar os sistemas de produção em sistemas dinâmicos e com maior capacidade de resistência em decorrência dos desafios no aumento na produção de alimentos como a adaptação as mudanças climáticas, minimizar os impactos no solo e na fertilidade pela agricultura.

2.1.1 Impacto do sistema de cultivo e das práticas de manejo

Quando o solo perde suas qualidades, principalmente nos aspectos citados anteriormente, ocorre à redução em sua capacidade de exercer suas funções e serviços, principalmente quando se fala na atividade agrícola.

Segundo Hamza e Anderson (2005), o preparo do solo talvez seja a atividade que afeta diretamente os atributos e indicadores da qualidade do solo, uma vez que atua em sua estrutura física. De acordo com Pitelli e Durigan (2001) e Noce et al. (2008), a utilização da cobertura do solo é uma excelente prática de manejo, pois, quando formada e distribuída de maneira uniforme na sua superfície, reduz a emergência de plantas indesejadas, contribui para a redução dos processos erosivos, além de regular a temperatura e umidade do solo.

Favorato et al. (2015) analisaram aspectos químicos de diversos sistemas sob preparo do solo, tanto orgânico quanto convencional, onde foi constatado que tanto no cultivo orgânico quanto no convencional os teores da matéria orgânica do solo (MOS) reduziram após o cultivo de milho verde. Entretanto foi evidenciado no estudo que os teores de MOS foram menores tanto no início quanto no final do experimento nos sistemas de cultivo convencionais, o que indica que o revolvimento intensivo do solo mais a adubação química, podem aumentar a taxa de mineralização da matéria orgânica.

A perda de matéria orgânica afeta diretamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, diminuindo sua fertilidade e comprometendo a médio e longo prazo a produtividade dos agroecossistemas.

Para Karlen et al. (2013), práticas agrícolas que promovam menor perturbação no solo, como o plantio direto, além de outras práticas conservacionistas, também favorecem a melhoria na fertilidade e estrutura do solo. De acordo com Silva et al. (2010) e Vezzani e Mielniczuk (2011), as práticas agrícolas conservacionistas de baixo impacto melhoraram a estrutura do solo sendo também responsável por estimular a atividade biológica.

Conforme Moraes et al. (2016), sistemas de cultivo que potencializam os fluxos de água, nutrientes, gases e temperatura do solo, podem trazer alterações significativas nas propriedades físicas o que influencia na produção vegetal e em seu desenvolvimento radicular.

Sendo assim, é nítido que sistemas de cultivo que possuem em baixo impacto no solo tendo como princípio básico práticas que diminuem a perda de MOS, melhoram aspectos físicos e químicos, que por consequência aprimoram a estrutura física e promovem a atividade tanto dos micro-organismos, fungos e bactérias que auxiliam na decomposição da matéria orgânica, quando da fauna edáfica levam ao aperfeiçoamento de seus serviços ecossistêmicos, tão importantes para o desenvolvimento dos sistemas de produção agrícola de base ecológica.

2.1.2 O manejo do solo nos sistemas de produção de base ecológica

A agricultura convencional, através de seus pacotes tecnológicos com adubação mineral de alta solubilidade e uso intensivo de agrotóxicos, busca ao máximo simplificar a paisagem e os agroecossistemas. Tal empobrecimento do sistema acarreta a perda de diversidade da vida no solo (SANTILLI, 2009). De acordo com Oliveira et al. (2019), os ecossistemas operam de maneira dinâmica e para isso necessita-se que haja um constante estudo para compreender as relações entre suas interações e seus elementos estruturais.

Nesse sentido a Agroecologia surge como uma alternativa ao pacote de simplificação que a agricultura moderna oferece, uma vez que possui sentido multidimensional. Segundo a EMBRAPA (2006), a Agroecologia é um conjunto de práticas, sociais, culturais, ecológicas, econômicas, éticas e políticas, pois vão desde a inclusão de grupos em vulnerabilidade social, garantindo a segurança alimentar, passando pela valorização das culturas tradicionais, ao mesmo tempo em que garante os processos ecossistêmicos e auxilia na organização política dos indivíduos na sociedade.

A premissa de que sistemas de produção de base ecológica permitam não apenas sua autossuficiente em sua perspectiva ecológica, sem utilização de insumos alóctones, mas também que permita a sua viabilidade econômica para o agricultor. Os sistemas de produção de base ecológica possuem a concepção de produção baseada nos princípios da própria natureza, como a sucessão ecológica, o equilíbrio entre as plantas e o solo, competição e a cooperação entre diferentes espécies por um determinado recurso, como a luz, água e nutrientes.

De acordo com Ferreira et al. (2017), a agricultura de base ecológica tem aumentado nos últimos anos em decorrência a pressão social em se produzir

alimentos com maior qualidade, além da preocupação em reduzir nos impactos gerados no meio ambiente.

Para Velimirov et al. (2010), os sistemas de produção de base ecológica possuem como um de seus objetivos criarem um ambiente equilibrado ecologicamente. Essa afirmação é corroborada por Lopes e Lopes (2011), segundo os quais, os diferentes estilos de produção de base ecológica partem do pressuposto de buscar métodos de produção sustentáveis, relacionando o homem à natureza, intervindo o mínimo possível no sistema, além de promover a conservação dos recursos naturais. Conforme Altieri (2009), os sistemas de produção agrícola de base Agroecológica amparam uma agricultura de caráter exclusivamente baseada nos princípios ecológicos, o que exclui técnicas e tecnologias antrópicas que alterem os padrões da natureza, seja o monocultivo, uso de transgênicos, adubos minerais de alta solubilidade e agrotóxicos sintéticos.

Dessa forma, os agroecossistemas tentem a preservar melhor seus recursos naturais e utilizá-los com eficácia, caso como o da matéria orgânica do solo, que pode ser também usada como um indicador de qualidade do solo. Stevenson (1994) denomina a MOS como todo o material orgânico que está contido no solo, o que inclui a biomassa microbiana, as substâncias orgânicas solúveis em água, as frações leves e a matéria orgânica estabilizada, mais conhecida como húmus.

A MOS é fundamental para a estruturação física, química e biológica do solo, pois influencia diretamente na capacidade do solo de absorver e reter a água, além de possibilitar a criação de micro-habitats para a fauna edáfica, melhorar aspectos químicos, como disponibilidade de nutrientes em decorrência da alta atividade metabólica dos micro-organismos presentes.

2.2. Os serviços ambientais do solo

Os serviços ecossistêmicos do solo dependem das suas propriedades físicas e químicas e da sua interação com os fatores bióticos, como as plantas e a fauna edáfica que são influenciados principalmente pelo seu uso e manejo (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016). De acordo com o Millennium Ecosystem Assessment (2005), os serviços ecossistêmicos podem ser classificados como provisão de bens como a produção de fibras, alimentos, fornecimento de água e madeira, serviços que condicionam a vida que vão desde a formação de solos, a ciclagem de nutrientes,

polinização e o controle do regime hídrico, serviços que são derivados dos benefícios de regulação de processos, regulação climática, controle de doenças e pragas e serviços ditos culturais, não são associados, diretamente aos benefícios materiais, mais patrimônios imateriais, como a recreação, estética, espiritual, intelectual.

Segundo Vezzani (2015), para que o solo desempenhe em seu mais alto nível a capacidade de propor seus serviços ecossistêmicos, ele dependerá da complexidade em sua estrutura. A estrutura do solo depende de diversos fatores, tanto da vida no seu interior quanto acima dele. As plantas e a fauna edáfica desempenham papel fundamental, pois realizam a conexão entre o solo e a atmosfera. De acordo com Sadava et al. (2009), a forma pela qual as plantas crescem influencia diretamente a existência de outros seres que habitam o ecossistema, sendo assim também são responsáveis pela estrutura da vegetação no espaço.

Quanto mais complexa é a diversidade vegetal acima do solo, mais complexa a estrutura do solo se torna, o que potencializa suas funções dentro do ecossistema. E no contexto da agricultura têm-se múltiplas práticas conservacionistas reconhecidamente indutoras da conservação de diversos outros recursos naturais dos ecossistemas, como os hídricos, capazes de contribuir para a manutenção da produção agrícola (TURETTA; CASTRO; POLIDORO, 2017). Para tal, os serviços ecossistêmicos são imprescindíveis para melhorar a qualidade da produção agrícola e, aliar a produção com a sustentabilidade, é um processo que será indispensável para os próximos anos.

2.2.1 O solo no contexto dos sistemas de produção de base ecológica

A qualidade do solo está intrinsecamente ligada à sua capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos. No contexto da geração de recursos para os sistemas agrícolas, Gleissman (2000) afirma que a sustentabilidade agrícola é a capacidade de um sistema de produzir alimentos e fibras não comprometendo condições que proporcionam seu processo. A relação entre qualidade e sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Para Karlen et al. (1997), mesmo não podendo medir de forma direta a qualidade do solo, todavia ela acaba servindo de um conceito guarda-chuva, pois nele cabe discutir as relações entre aspectos biológicos, químicos e físicos, que acabam por constituir importantes indicativos para os sistemas agrícolas e ambientais.

Wezel et al. (2014) demonstram que historicamente práticas agrícolas como a rotação de culturas, adubação orgânica e controle biológico de insetos foram usadas extensivamente ao longo do tempo na agricultura convencional, entretanto essas práticas estão sendo descritas como práticas vinculadas à Agroecologia. Essas adaptações nas práticas de manejo são uma resposta às necessidades de cada sistema produtivo.

Com a conversão de sistemas tradicionais em sistemas de base ecológica ocorre a redução de intensidade no uso do solo levando a sustentabilidade na produção agrícola (WITTWER et al., 2017). Segundo Nyeleni (2015), são essas práticas que promovem a diversificação e a produção ecológica de alimentos, uma vez que, reestabelecem tanto a economia quanto os ecossistemas locais, proporcionando a emancipação dos agricultores familiares.

No contexto da agricultura de base ecológica e familiar, Bunemann et al. (2018) afirmam que a avaliação da saúde do solo tem sido feita principalmente por cientistas no meio acadêmico, mesmo não sendo eles os principais responsáveis pelo manejo do solo, mas sim os agricultores. Sendo assim há uma lacuna entre o conhecimento gerado pelo meio acadêmico e o popular, o que interfere de maneira negativa para o desenvolvimento de novas práticas que possam vir a melhorar as técnicas de manejo do solo.

2.3.1 Importância da biota do solo e seus principais grupos

A fauna edáfica é elemento chave não só nos processos como de decomposição e ciclagem de nutrientes; ela também auxilia na melhoria dos aspectos físicos e químicos do ambiente, além de incorporar a matéria orgânica ao solo (MAAB; CARUSO; RILLING, 2015). No momento em que conduzem os processos de decomposição dos resíduos do solo, a fauna edáfica executa um papel fundamental no fluxo de matéria, energia e manutenção da cadeia trófica.

Estudos abordam a complexidade na interação entre microrganismos decompositores, plantas e macrofauna edáfica, evidenciando o papel regulatório dos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes e suas respectivas alterações na estrutura e no funcionamento do solo (WU; WANG, 2019).

A fauna edáfica em cooperação com os microorganismos e plantas, possuem a capacidade de alterar a dinâmica do ambiente, o que resulta em uma ação direta em processos como a decomposição, ciclagem de nutrientes, mineralização e na disponibilização de nutrientes no solo. Para Baretta et al. (2006) e Gatiboni et al. (2009), a dinâmica populacional da fauna edáfica pode ser influenciada pelos sistemas de cultivo adotado e pela escolha da cobertura vegetal. Já Alvez et al. (2008) afirmam que o tipo de adubação tende a influenciar na população e na distribuição da fauna edáfica.

Alves et al. (2020) elencam diversas contribuições da fauna edáfica para a melhoria dos aspectos do solo, desde a bioturbação e a criação de galerias, melhoria na drenagem, servindo também na teia alimentar, ciclagem de nutrientes em sinergia com outros micro-organismos como fungos e bactérias, conservação da biodiversidade.

Pode-se perceber que a relação entre a fauna edáfica e o solo é forte e enraizada, já que algumas espécies são consideradas fundamentais para a melhoria das condições ambientais.

Segundo Lavelle et al. (1993), os invertebrados são um grupo megadiverso e abundantes presentes em diversos ecossistemas. Alves et al. (2020) classificam a fauna do solo da conforme suas funções, tamanhos, hábitos e táxons, desta forma abrangendo inúmeros nichos. Brown et al. (2015), atribuem funções no ecossistema terrestre conforme a classificação da fauna em relação ao seu tamanho, micro, meso e macrofauna.

O tamanho e o comprimento são as principais características utilizadas para a classificação dos organismos que vivem ou passam parte de sua vida no ambiente terrestre, isso ocorre por ser um método mais simples e didático. A classificação dos invertebrados do solo se dá por três níveis de classificação: microfauna, mesofauna e macrofauna. A ordenação mais clássica foi proposta por Swift et al. (1979), onde a classificação é dada pelos hábitos alimentares, mobilidade, função desempenhada no solo e principalmente pelo tamanho.

Pode-se afirmar que na microfauna estão os representantes com tamanho menor que 4-100µm mm, como protozoárias, rotíferos e nematoides. A mesofauna abrange um grupo maior de indivíduos em relação ao comprimento, variando de 100µm a 2 mm. Esse grupo é formado por táxons como Collembola, Acari, Protura, Hexapoda, Pseudoscorpionida e Myriapoda.

Entretanto, o grupo com os maiores organismos está na macrofauna com indivíduos entre mais de 2mm. Nesse grupo se enquadram as classes Insecta (Coleoptera, Blattaria, Orthoptera, Diptera, Dermaptera, Hymenoptera, Isoptera etc.), Crassiclitellata, Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Malacostraca etc. De acordo com Alves et al. (2020), destacam-se alguns grupos e comunidades que estão intrinsecamente ligados à qualidade ambiental. Grupos como, colêmbolos, besouros, aracnídeos e minhocas são ótimos indicadores, sendo sua existência vista de maneira positiva.

Invertebrados como besouros, formigas e minhocas são considerados “engenheiros do ecossistema”, uma vez que suas atividades levam a construção de estruturas biogênicas e a modificação das propriedades físicas e disponibilidade de matéria orgânica no ambiente (LAVELLE et al., 1997; BROWN et al., 2001). A presença de colêmbolos é um bom indicativo de saúde do solo, pois é um grupo que se destaca pela qualidade da matéria orgânica, uma vez que, são indivíduos que realizam a quebra da matéria do solo disponibilizando e realizando a decomposição e a ciclagem de nutrientes, além de servirem como base da cadeia alimentar para organismos maiores como besouros, ácaros e aranhas (BARETTA et al., 2011).

A ordem Coleoptera também possui grande importância na composição da fauna edáfica, além de serem um dos grupos mais variados em número de espécies, aproximadamente 350.000 espécies (LAWRENCE; BRITTON, 1991) distribuídas em toda área terrestre (COLEMAN; CROSSLEY, 1996), possui uma das maiores diversidade de tamanhos, de 3mm até 170mm (ALVAREZ, 2008). Os coleópteros são importantes agregadores de matéria orgânica no solo, além de exercerem um papel de destaque como predadores de outras espécies. Uma das principais famílias e mais estudadas é a Scarabaeidae, conhecida popularmente pelos “besouros-rola-bosta”, animais de hábitos alimentares coprófagos. Os besouros dessa família possuem diversos papéis ecológicos que vão desde a bioturbação e ciclagem de nutrientes até a dispersão de sementes e em menor escala a polinização (NICHOLS et al., 2008).

Um grupo que possui grande importância é a ordem Thysanoptera, conhecidos como “tripes”, é um grupo de importância fitossanitária, pois por possuírem aparelho bucal picador/sugador alimentam-se da seiva das plantas, o que pode vir a causar danos às plantas, além de serem potenciais vetores de agentes patogênicos.

A maioria das famílias são fungívoras e são encontradas em serrapilheira e matéria orgânica em decomposição (MONTEIRO; MOUND, 2001). O grupo das Oligochaetas, mais conhecidas como minhocas, também são um grupo de extrema relevância quando se fala de qualidade ambiental, pois desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na decomposição de matéria orgânica (BARTZ et al., 2009).

2.3.2. Parâmetros biológicos, ecológicos e microbiológicos.

Atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 e 10 cm (BARETTA et al., 2005), e a fauna do solo é extremamente sensível às variações do ambiente, podendo ser um ótimo indicador de qualidade ambiental.

De acordo com Melo et al. (2009) e Andréa (2010), o uso de bioindicadores possui a função de avaliar alterações no habitat, desde contaminação por metais pesados e/ou produtos químicos, perturbações ambientais, sucessão da vegetação, o impacto do manejo adotado e também para avaliar a reabilitação de áreas degradadas. Cada espécie responde de forma diferenciada aos distúrbios do meio onde vivem, sendo desta forma de grande importância o reconhecimento de suas interações com as alterações ambientais (ESPÍRITO-SANTO FILHO, 2005).

Para Cherubin et al. (2015) os bioindicadores são atributos biológicos dentro do solo que podem indicar a situação do ecossistema. Para Heger et al. (2012), os bioindicadores representam um amplo espectro que possibilita avaliar e interpretar os impactos naturais e antrópicos dentro do ecossistema do solo.

Os indicadores biológicos de qualidade do solo são uma ótima ferramenta para mensurar impactos causados pela ação antrópica, principalmente práticas agrícolas, sendo úteis para monitorar, planejar e até mesmo propor práticas que visam à sustentabilidade do sistema.

Almeida et al. (2017) demonstraram que o monitoramento da macrofauna do solo é uma excelente estratégia para indicar a qualidade ambiental, devido à diversidade e abundância relativa dos grupos da fauna do solo.

Pesotto et al. (2020) estimam que conhecer a abundância, a riqueza e a diversidade da fauna edáfica, pode auxiliar na avaliação dos impactos e ajudar a traçar estratégias que visam corrigir o manejo do solo, podendo os parâmetros variar de acordo com o manejo e/ou a espécie que é cultivada. Essa ideia é corroborada por Baretta et al. (2011), segundo os quais, tais parâmetros podem demonstrar as condições do solo em seu nível de perturbação ou mesmo equilíbrio.

Baretta et al. (2008) ratificam que os organismos do solo são suscetíveis as mais variadas perturbações como física, química e biológica que acontecem no meio, tendo potencial de serem utilizados como indicadores de qualidade, através dos processos que estão relacionados ao manejo adotado.

Com isso o uso de bioindicadores da fauna edáfica é de extrema importância para avaliação de qualidade ambiental, já que ela é altamente sensível às variações ambientais, principalmente no curto e médio prazo.

2.3.2.1 Atividade microbiana

A microbiota do solo é influenciada pelos processos que ocorrem tanto na superfície quando no próprio solo, como dito anteriormente a fauna do solo em conjunto com os microrganismos são responsáveis diretos pelos processos de decomposição, mineralização e pela regulação dos processos biogeoquímicos que ocorrem no ecossistema.

Para Araújo et al. (2012) alguns parâmetros como biomassa microbiana, respiração microbiana, atividade enzimática, quociente metabólico e o nitrogênio mineralizável, são indicadores da capacidade dos microrganismos de realizarem a ciclagem de nutrientes.

De acordo com Tiemann et al. (2015) a sustentabilidade do ecossistema irá depender tanto da qualidade quanto da quantidade dos resíduos do sistema. Segundo Oest et al. (2018) as comunidades de microrganismos do solo afetam o ciclo de nutrientes e seu próprio metabolismo a partir da utilização de substrato de carbono. Para Chávez et al. (2011) em locais com altos índices de diversidade de espécies vegetais e menor perturbação do solo, os microrganismos possuem maior

capacidade de utilização de substratos à base de aminoácidos e grupos carboxílicos.

Segundo Barra Caracciolo et al. (2015) e Teng et al. (2019) a capacidade da comunidade microbiana utilizar diferentes fontes de carbono decorre pelo fato da própria comunidade sofrer alterações que possibilitam uma maior diversidade funcional.

2.3.2.2 Parâmetros físicos

Segundo Arshad et al. (1996) as propriedades físicas do solo estão envolvidas desde o crescimento radicular, capacidade de armazenar água e nutrientes, aptidão nas trocas gasosas e suporte para a atividade biológica.

Existem alguns aspectos como a textura, densidade, espessura, capacidades de retenção hídrica que são usados como indicativos de qualidade física do solo. De acordo com Feller e Beare (1997) e Stefanoski et al. (2013), a textura tem uma estreita relação com vários serviços ambientais do solo, como retenção e o transporte de água, estruturação, influência em processos erosivos, pode interferir nos teores de matéria orgânica, nutrientes e em processos ecológicos.

A densidade sendo uma das propriedades físicas do solo mais dinâmica e tende a variar de acordo com seu uso, a densidade tende a aumentar de acordo com as práticas agrícolas utilizadas, por exemplo, o uso de maquinário pesado e ou mesmo por animais de grande porte, levam a compactação e consequentemente o aumento da densidade e a diminuição da porosidade, dificultando a penetração das raízes e o desenvolvimento das plantas.

Para Araújo et al. (2012) a espessura (horizonte superficial) tem sido um dos melhores parâmetros de avaliação de qualidade do solo, pois é nessa faixa que há maior atividade biológica, e consequentemente ciclagem de nutrientes e acúmulo de matéria orgânica. Lowery et al. (1996) relacionam a capacidade de retenção hídrica com outros fatores, como textura, número e tamanho dos poros, pela sua estrutura, matéria orgânica e por fim sua mineralogia.

2.3.2.3 Parâmetros químicos

Segundo Cardoso et al. (2013), o PH, a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes e a própria matéria orgânica são os principais indicadores químicos de qualidade do solo, uma vez que, são relacionados diretamente com a capacidade do ambiente proporcionar os nutrientes necessário para o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Para Balota (2018), a matéria orgânica é essencial para a capacidade produtivo e fundamental para a sustentabilidade do solo, pois o mesmo oferece vários processos, como a ciclagem de nutrientes, a complexificação dos elementos tóxicos e quelatos presentes no solo, atividade biológica e a formação da estrutura do solo, sendo intrinsecamente conectados com a qualidade do solo.

Segundo Mendes et al. (2019), o nível de perturbação do solo junto com o aporte de resíduo vegetal, tanto em qualidade quanto em quantidade, faz com que o sistema como um todo deixe sua impressão digital, ou seja, a sua assinatura biológica no solo.

De acordo com Mielnickzuk (1999), o uso da MO como indicadora de qualidade do solo é bastante comum, pois ela é um fator que tem alta suscetibilidade as alterações relacionadas às práticas de manejo, além de estar intrinsecamente ligada a outras propriedades do solo. Para Oliveira et al. (2020), a cobertura vegetal de espécies e suas características fisiológicas, a proporção entre carbono e nitrogênio, as condições ambientais como temperatura e umidade, determinam não apenas a qualidade da MOS, mas também a qualidade e a quantidade dos microrganismos associados a ela.

Já parâmetros como o pH tende a dar uma visão geral da condição química do solo, como a disponibilidade de elementos fundamentais à nutrição, solubilização de elementos, efeitos tóxicos, atividade microbiana além de poder afetar o estabelecimento das culturas.

Por fim, a capacidade de trocas catiônicas é a capacidade de certo material reter os cátions disponíveis no ambiente. Gai et al. (2014) afirmam que tanto as plantas quanto os microrganismos utilizam os nutrientes em suas formas iônicas, o que retrata a fertilidade do solo. De acordo com Ronquim (2010), o potencial de troca catiônica favorece a manutenção da fertilidade em longo prazo, reduzindo assim a necessidade de se utilizar fertilizantes e corretivos no solo.

2.4 A Cromatografia de Pfeiffer e sua utilização

A técnica de cromatografia tem mais de 80 anos, tendo sido ao longo do tempo aperfeiçoada. Segundo Pinheiro (2011), a cromatografia surgiu no século XIX, descoberta pelo botânico russo Mikail Tsvet que, ao estudar a coloração da clorofila e dos carotenos, desenvolveu a técnica de cromatografia líquida, com o passar dos anos a técnica passou por adaptações e melhorias, o casal Kolisko, Lily e Eugen passaram a utilizar uma coluna contendo solvente, onde a matéria era solubilizada em contato com os reagentes formaria uma cor própria.

Já os russos, Nicolai Izmailov e Maria Schraiber, percebendo a dificuldade de se utilizar uma coluna, uma vez que o preenchimento e a padronização da coluna era um empecilho, buscaram uma maneira de realizar a técnica de forma mais simples, passando a utilizar o papel filtro (PINHEIRO, 2011).

Posteriormente na Alemanha no século XIX, por volta dos anos 20, Pfeiffer foi o grande impulsionador da técnica e junto com Rudolf Steiner, passaram a estudar a fertilidade do solo e a sua ligação à química. Uma vez que, Rudolf Steiner estava preocupado com a perda de vitalidade dos solos e com a crise na agricultura em decorrência do uso de agroquímicos, fundou a Agricultura Biodinâmica, tem como base a agricultura de base ecológica. Pfeiffer desafiado a compreender de maneira mais aprofundada as relações do solo, empenhou-se em estudar mais as relações químicas e a fertilidade do solo, e posteriormente na microbiologia e na bioquímica, sendo capaz de identificar as relações da vida do solo mediante as reações de anabolismo e catabolismo.

Contudo, apesar dos avanços de Pfeiffer ele não teve apoio nem mesmo reconhecimento pelos seus serviços prestados, isso se deve a Lei de Liebig, extremamente difundida na Alemanha, o que implicou a adoção de políticas públicas voltadas para uma agricultura industrial, uma agricultura de larga escala. A agricultura industrial é essencialmente direcionada pela oferta ou deficiência de nutrientes específicos, não levando em consideração a saúde do agroecossistema. O crescente movimento da produção de agroquímicos, principalmente pelas gigantes do ramo, levou a invisibilização da técnica de cromatografia de Pfeiffer, pelo seu potencial de empoderamento pelos agricultores menos favorecidos, além de evitar o crescimento de qualquer modo de produção agrícola que colocasse em cheque o modo de produção industrial.

Ainda que a disseminação de seus saberes entre agricultores biodinâmicos já tenha algumas décadas, somente de forma recente o método tem tido uma plataforma de divulgação e tem sido aplicado por outros agricultores de outros estilos, como os de base ecológica, e vem se adentrando no meio acadêmico.

Nos últimos anos a Cromatografia de Pfeiffer (CP) tem ganhado destaque, não só no campo popular, mas também nos meios acadêmicos, através dos trabalhos de Pinheiro (2011), Restrepo e Pinheiro (2015), Kokornacyzk et al. (2016), Bezerra (2018), Siqueira (2018), Miranda (2018), Pilon, Cardoso e Medeiros (2018), Pian (2019), Melo (2020), Barros (2020).

Kokornaczyk et al. (2016) analisaram amostras de solo tanto por CP quanto análise química convencional e observaram uma forte correlação entre o conteúdo de MO, nitrogênio total, fósforo e bromo assimiláveis. Por sua vez, Bezerra (2018) analisou Sistemas Agroflorestais utilizando CP e observou que cromatogramas foram sensíveis aos teores de matéria orgânica determinada por metodologias convencionais, como também a física do solo em relação à aeração do solo. Siqueira (2018) propôs uma chave de interpretação, a fim de auxiliar na padronização da análise. Cada zona foi analisada separadamente, atribuindo notas de acordo com a coloração, forma e integração entre as zonas.

No trabalho de Graciano, Matsumoto e Peixoto (2020) realizam a comparação da qualidade do solo obtido através da cromatografia de Pfeiffer com análises convencionais. A partir dos resultados correlacionaram alguns atributos com a resistência à penetração a zona central obtendo correlação negativa entre, entre a zona interna e parâmetros químicos, principalmente o conteúdo orgânico total, uma relação positiva entre os a zona e a química do solo. Para a zona intermediária e a biomassa microbiana do solo obtiveram fortíssima correlação entre os parâmetros relacionados. Por fim a zona enzimática obteve ligação visceral com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase. Dessa forma demonstram que a cromatografia pode indicar o estado de saúde e vitalidade do solo ao integrar aspectos químicos, físicos e biológicos.

Por fim Barros (2020) realizou sua pesquisa com cromatografia de Pfeiffer avaliando a saúde do solo em quatro tipos diferentes de manejo do solo em um sítio agroecológico e biodinâmico. Barros constata que por ser uma técnica com perspectiva integral sobre a vida do solo os resultados tanto da química do solo, fertilidade, estrutural, matéria orgânica, foram revelados na superfície do papel. O

que auxilio na compreensão tanto das potencialidades quanto nas fragilidades da área de estudo.

O que todos os trabalhos tiveram em comum foi que demonstraram que a metodologia é de baixo custo e de simples procedimento e que pode vir a complementar uma análise convencional e auxiliar na interpretação da qualidade do solo nos ambientes estudados.

3 Material e métodos

3.1 Descrição do local de estudo

O presente estudo ocorreu na Estação Experimental Cascata (31°37'15" S 52°31'30" O), Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas- RS, entre março e maio de 2021. Foram analisados o solo de um sistema de cultivo orgânico de mandioca comparado ao solo de floresta adjacente, em duas áreas diferentes, distantes 628 m. O clima da região é classificado de acordo com Koeppen como Cfa (subtropical úmido) (ALVARES et al., 2013) com temperatura média de 18,9 °C e precipitação média de 1794.6mm.



Figura 1 Áreas de coleta de amostras em cultivo de mandioca e em áreas de florestas adjacentes. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021. Os quadriláteros representam a posição das áreas amostradas e os círculos brancos a localização aproximada da coleta. Fonte: Google Maps, 2022.

3.1.1 Áreas de cultivo de mandioca

As áreas de cultivo de mandioca são áreas experimentais, ou seja, são locais estratégicos para geração de conhecimento, através de pesquisas científicas, desenvolvimento tecnológico, aperfeiçoamento genético, melhoramento vegetal e também manejo do solo.

De acordo com funcionários da Estação Experimental no início dos anos 2000 área A do cultivo de mandioca foi local de plantio de citrus (*Citrus* sp.) e posteriormente ocorreu o plantio de pêssigo (*Prunus persica*), nesse meio tempo ocorreu também a utilização da área para plantio de milho (*Zea mays*) até que nos

dias atuais fosse usada para experimentos com o cultivo de mandioca. E na área B do cultivo de mandioca ocorreu o plantio de feijão e posteriormente a área foi deixada em pousio até que houvesse o plantio de mandioca.

Para o preparo do solo contou com aração e gradagem, além de que antes do cultivo foi usada adubação verde com aveia e ervilhaca para preparo do solo e no ato do plantio adubada com 2 t ha⁻¹ de esterco de peru diretamente na cova, a condução foi feita com três capinas manuais para controle de plantas espontâneas. Os cultivos de mandioca eram formados por uma coleção de diferentes genótipos registrada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), RS 13 e RS 14 e IAC 576 e “criolulas” como São José, Porquinho e Vassourinha. O plantio de mandioca teve início em outubro de 2020 e sua colheita em maio do ano seguinte, quando teve início o experimento o cultivo tinha aproximadamente 180 dias.

As plantas foram dispostas em linhas de 4 m de comprimento, espaçamento de 1 m entre linhas e 0,8 m entre plantas. No período em que ocorreram as coletas o solo apresentou pouco ou nenhum tipo de cobertura do solo.

3.1.2 Áreas de floresta adjacente

As áreas de fragmento florestal são classificadas como Floresta Estacional Semidecidual. As áreas usadas para comparação estavam em uma proximidade de 20 metros das áreas de cultivo de mandioca, os dois fragmentos são considerados alterados, uma vez que possuem histórico de manejo na área, podendo ser considerados entre um estágio médio e avançado de regeneração. Em ambas as áreas as bordas são as mais afetadas por espécies invasoras, como por exemplo, *P. undulatum* espécie essa bem comum por toda Estação Experimental e *Pinus* sp também há presença de espécies como *Ocotea pulchella*, *Myrcianthes gigantea*, *Ilex dumosa* e *Cedrela fissilis* que ajudam na caracterização do estágio sucessional mais avançado.

Pela análise visual, solo possuía uma camada de serrapineira, alta umidade, enquanto o dossel de vegetação arbórea e arbustiva que proporcionavam uma cobertura de aproximadamente 80%.

3.1.3 Variáveis climáticas e do solo

As informações referentes ao clima foram obtidas a partir de um sistema de aquisição automático de dados do tipo datalogger, de marca Campell, modelo CR800 que se encontra instalado na Estação Experimental Cascata entre as duas áreas de estudo. O intervalo de leitura foi de 60 segundos com armazenamento a cada 60 minutos, o que totalizou 24 observações por dia.

Foram coletadas a temperatura média, máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), a umidade relativa do ar (%), precipitação pluviométrica (mm), além da radiação fotossintética ativa, tanto o fluxo médio (W m^{-2}) quanto total (E m^{-2}). No período em que ocorreu o experimento a média climática se deu 20.7°C e com a umidade relativa do ar em 92.6%. Já a radiação fotossintética ativa total se deu em 20.6 E m^{-2} , como podemos observar no apêndice A

As amostras do solo foram coletadas no dia 14/4/2021, identificadas e enviadas posteriormente para o Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Santa Maria-RS, onde foram realizadas as análises físico-químicas. Os valores médios das variáveis químicas e físicas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios de variáveis químicas e físicas dos solos nas diferentes áreas avaliadas (n=16), considerando uma profundidade de 0-10 cm. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

Área	Ambiente	ph ÁGUA [1:1]	Ca [cmol _c dm ⁻³]	Mg [cmol _c dm ⁻³]	Sat. Bases	Ca/Mg
A	Floresta	5.48	5.95	2.28	67.98	2.60
	Mandioca	4.85	4.20	1.48	53.00	2.88
B	Floresta	5.08	6.85	2.13	63.84	3.23
	Mandioca	5.30	3.55	1.13	59.03	3.13

Área	Ambiente	MO [% m/v]	P-Mehlich [mg dm ⁻³]	K [mg dm ⁻³]	Argila [%]	Textura
A	Floresta	4.95	27.65	210.00	15.00	4.00
	Mandioca	2.68	10.20	140.00	29.50	3.00
B	Floresta	5.43	28.55	193.00	17.50	4.00
	Mandioca	1.98	18.33	106.00	22.25	3.25

3.2 Cromatografia de Pfeiffer

A análise quantitativa da cromatografia ocorre a partir de correlação dos padrões de cores e formas, sendo o croma uma imagem formada em um papel filtro circular, onde por capilaridade ocorre a formação das zonas, que estão vinculadas aos indicadores de qualidade do solo. As zonas dividem-se em: zona central a qual indica a condição de aeração do solo; a zona interna representa condição nutricional, ou seja, os nutrientes disponíveis, a zona intermediária a relação com a MOS e a zona externa, a zona de atividade biológica, a atividade enzimática.

A metodologia seguiu de acordo com Riveira e Pinheiro (2015). Para o preparo da amostra do solo deve ser coletada de forma a representar o horizonte que se tem como perspectiva de avaliação, para isso coleta-se cerca de 250g de solo para confeccionar uma amostra. As amostras após coletadas foram alocadas em local arejado, seco e devidamente identificadas em relação ao local e a profundidade.

Uma vez secas, as amostras passaram pela peneira mesh nº 32, a fim de retirar particular indesejadas, como folhas, galhos, restos de raiz dentre outros materiais que possam atrapalhar a análise, em seguida o material ser peneirado, foi separado 5g de solo e identificado.

Para o preparo do papel filtro, utilizou-se papel filtro Watchman® número 1 de 15 cm de diâmetro. Primeiramente foi feito um molde onde foram feitas duas marcações a partir do centro do papel, uma de 4 cm e outra de 6 cm. Para o pavio, é usado o mesmo papel filtro, seccionado em quadrados de 2cm x 2cm, onde são enroladas formando um tubo cilíndrico a qual é introduzido no centro do papel filtro, por fim as perfurações das marcações foram feitas com agulha grossa equivalente a um furo de 2mm.

A impregnação do nitrato de prata (AgNO_3) foi realizada em um ambiente a meia luz afim de que não haja a degradação da solução de nitrato de prata pela luz direta. O nitrato de prata foi utilizado na concentração de 0.5% e colocado em placas de Petri pequenas com o auxílio de uma pipeta. Já com o pavio encaixado no centro do papel filtro, o mesmo foi colocado sobre a placa de Petri para que a solução de AgNO_3 seja impregnada até um pouco antes da marca de 4 cm. Após a impregnação, foi retirado o pavio com cuidado para que não houvesse contato com a área impregnada. O papel filtro foi devidamente acondicionado em uma caixa sem

a possibilidade da entrada de luz e deixado em repouso por pelo menos 4 horas. Por fim, entre cada papel filtro foi colocado uma folha de papel toalha, com o intuito de que não houvesse contato entre os papéis impregnados.

Para o preparo da solução de solo foi utilizado um recipiente de vidro devidamente limpo e esterilizado e que possuía gargalo. Com o auxílio de uma espátula adicionou-se 5g de solo já moído e peneirado, logo em seguida acrescentou 50mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% e para que o material fosse dinamizado de maneira padronizada efetuaram-se sete séries de giros para a direita e sete giros para a esquerda, de forma alternada. Logo após a primeira série de 49 giros intercalando os sentidos a solução foi deixada em suspensão por 15 minutos, depois se repetiu mais sete séries de giros intercalados, em seguida a solução foi deixada em repouso por mais 30 minutos e novamente os movimentos de giros foram repetidos e a amostra em repouso por 60 minutos. Após a última repetição de giros a solução foi deixada em repouso por 6 horas.

Após o repouso de 6 horas, período necessário para a solução ter estabilizado, coletou-se com o auxílio de uma pipeta de 5mL a 10mL do sobrenadante para efetuar a impregnação no papel filtro com nitrato de prata. A impregnação da solução foi realizada com o auxílio de um pavio colocado no centro do papel filtro sobre a placa de Petri, onde a solução do solo foi absorvida pelo papel até o ponto de 6cm e em seguida o pavio é retirado e o papel colocado para secar em local iluminado, porém sem luz direta.

Após seco, o cromatograma é analisado conforme a chave de interpretação. A Figura 2 é uma representação de como ocorre a impregnação tanto do nitrato de prata quando da solução do solo no papel filtro.

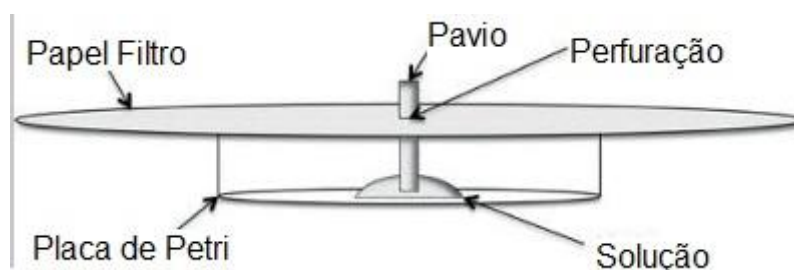


Figura 2 - Representação do teste de cromatografia circular de Pfeiffer. Adaptada de Kokornaczyk et al. (2018).

3.2.1 Análise dos cromatogramas e correlação com os atributos do solo

Para a interpretação dos cromatogramas foi realizada com base no sistema proposto por Siqueira (2018) e Barros e Franco (2022) como é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Atributos presentes para a chave de interpretação segundo Siqueira (2018).

Zona	Notas	Cor	Forma	Integração
Central	1	Branca ou escura	Circular com borda lisa definida	Transição marcada por linha
	2	Marrom claro	Borda lisa e pouco definida	Desvanecimento suave para a próxima zona
	3	Creme	Borda irregular	Desvanecimento suave e entrelaçada pra a próxima zona
Interna	1	Acinzentada, violeta ou azulada	Forma circular com borda lisa definida	Ausência de radiações e transição da zona com a zona anterior marcada por linha
	2	Marrom escuro um pouco acinzentado	Forma circular com borda lisa pouco definida	Presença de radiações lisas
	3	Coloração marrom clara ou amarelada	Forma circular com borda irregular	Radiações em formato de penas
Intermediária	1	Coloração acinzentada ou marrom muito escura	Forma circular com borda externa pontiaguda ou grossas	Ausência de radiações e transição da zona com a zona
	2	Coloração marrom escura	Forma circular com borda externa pouco pontiagudas ou grossas ou pouco irregulares	Presença de radiações lisas
	3	Coloração marrom, clara ou amarelada	Forma circular com borda externa de pontas irregulares	Presença de radiações em forma de penas
Externa	1	Esbranquiçada	Formato de dentes ou gomos regulares	Não apresenta a formação de bolhas
	2	Marrom claro ou com manchas em marrom ou com manchas pouco definidas	Dentes e/ou gomos irregulares, formas irregulares	Presença de poucas bolhas
	3	Marrom claro ou amarelado com manchas marrons bem definidas	Formar irregulares	Grande quantidade de bolhas ao redor da zona externa

Em cada zona é atribuída uma nota de 1 a 3 para cada um dos atributos cor, forma e integração apresentadas no cromatograma, podendo atingir uma nota máxima igual 9. O somatório das notas das quatro zonas do cromatograma pode atingir um valor máximo igual a 36.

Ao atribuir $\bar{x} \pm \sigma$ ou $\bar{x} \pm 2\sigma$ à média das notas dos cromatogramas de cada ambiente e área, foi possível ordenar as amostras em péssimo, ruim, regular, bom e ótimo, com relação à qualidade do solo conforme a interpretação da cromatografia de Pfeiffer.

Para a análise comparativa entre cromatografia de Pfeiffer e os atributos do solo utilizou-se a correlação de Pearson. Foi correlacionado o padrão de notas de cada zona do cromatograma com as variáveis: teor de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), saturação por bases (%), matéria orgânica (%), teor de fósforo Mehlich (mg dm^3), teor de potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), teor de magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna e por fim, a abundância de indivíduos da edafofauna. A correlação de Pearson foi realizada através do software livre Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis – PAST, versão 4.03 (HAMMER et al., 2001).

De acordo com Figueiredo e Júnior (2009) a correlação de Pearson é a associação à linearidade entre variáveis X e Y, sendo ela uma medida de variância compartilhada por duas variáveis, além de também supor um aumento ou decréscimo da variável X que possa gerar na variável Y. Sendo o coeficiente da correlação variando de -1 a 1, uma vez que o sinal indica a direção positiva ou negativa da reação e o valor sugere a intensidade da força entre as variáveis;

Segundo Cohen (1988), os valores que estão na faixa de 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos, os escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como valores médios, por fim os valores que estão entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes.

Sendo a formula representante da correlação de Pearson a seguinte.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right)$$

3.3 Avaliações da biota do solo

3.3.1 Diversidade da fauna epiedáfica pelo método Provid

O Provid (FIGURA 3) é um método de coleta passiva desenvolvida por Antonioli et al. (2006), que consiste na utilização de uma garrafa tipo polietileno tereftalato (PET) com capacidade de dois litros, transparente, com quatro aberturas na parte superior no formato de janelas medindo 6x4 cm a altura de 20 cm da base. Em seu interior é adicionado 200mL de álcool etílico 70%, mais 2% de glicerina, podem ser acrescentadas 3 a 5 gotas de formol a 1%.



Figura 3 - Armadilha Provid, é constituída por uma garrafa de plástico tipo Pet com capacidade de dois litros, contendo quatro aberturas na forma de janelas com dimensões de 6 x 4 cm na altura de 20 cm de sua base

Em cada ambiente foram instaladas quatro armadilhas, totalizando oito em cada cultivo de mandioca e oito em floresta adjacente. Onde ficaram a campo por sete dias, entre 16/03 e 23/03. Sendo enterradas a 20 cm para que as “janelas” ficassem alinhadas à superfície do solo, facilitando a captura dos organismos.

Logo após sua retirada, o material foi levado para o laboratório, os organismos observados com o auxílio de uma lupa óptica de 3,5x e classificados quanto à classe, ordem e ou grupo taxonômico, conforme as chaves taxonômicas de

Tilling (2014) e Rafael et al. (2012). Por fim as informações foram tabuladas e utilizadas para calcular índices de diversidade.

3.4 Índices ecológicos de diversidade

A riqueza taxonômica de grupos (S) foi calculada como o número de táxons obtidos e a abundância (N) como a soma de todos os indivíduos coletados em cada amostra.

A equabilidade de Simpson (1-D) mede a verossimilhança de dois indivíduos selecionados aleatoriamente de uma comunidade pertencerem a diferentes grupos taxonômicos, sendo calculado da seguinte forma.

$$\text{Equitabilidade de Simpson} = 1 - D$$

Onde D é a dominância, sendo calculada por:

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad \text{tal que} \quad p_i = \frac{n_i}{n}$$

sendo D a dominância, p_i a proporção de indivíduos que pertencem ao grupo taxonômico i , com n_i representa o número de indivíduos do grupo taxonômico i e n o número total de indivíduos da amostra.

A diversidade de Shannon (H') mede a incerteza da previsão da identidade de certo grupo taxonômico a partir da coleta de um indivíduo coletado de forma aleatória de uma comunidade. Sendo seu valor obtido através da equação a seguir:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i$$

onde p_i é multiplicado pelo logaritmo natural da própria p_i . O índice de Shannon não tem um entendimento fácil, a sua unidade (nats/indivíduos) tem pouco contexto biológico. Entretanto, em estudos comparativos considera-se quanto maior o valor, mais diverso será o ambiente.

Os diferentes índices de diversidade foram obtidos com auxílio do software livre Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis –

PAST, versão 4.03 (HAMMER et al., 2001) e as definições e interpretações consubstanciadas por Melo e Alegre (2008), Kindt e Coe (2005), Morri et al. (2014) e Daly et al. (2018).

3.5 Atividade alimentar da edafofauna pelo método bait lamina

3.5.1 Descrição do método e preparo das bait laminas

As bait-laminas são padronizadas pela ISO 1811 (ISSO, 2016). O método foi proposto por Von Torne (1990) e descrito por Kratz (1998) sendo uma ótima ferramenta para avaliação da atividade alimentar da fauna do solo. As bait-laminas são feitas de um plástico resistente e medem 120 mm de comprimento, 6 mm de largura e 1mm de espessura, contendo 16 orifícios bicôncavos de 2 mm de diâmetro espaçados 5 mm entre si. Cada orifício é preenchido com uma massa nutritiva e homogênea composta 70% de celulose em pó, 27% de farinha de aveia e 3% de carvão ativado.

Para obtenção dessa massa homogênea utiliza-se água destilada ou deionizada como solvente, e o material é mexido até a formação de uma pasta uniforme. Após a formação dessa massa os orifícios são preenchidos manualmente e o excesso retirado com uma espátula. Após a retirada do excesso as lâminas foram apoiadas verticalmente com o auxílio de um suporte para secarem por 24 horas em temperatura ambiente. Quando secas o material nos orifícios tende a reduzir de volume e com isso se faz necessário preenchê-las novamente.

É importante salientar que se o orifício não estiver totalmente preenchido poderá ocorrer “contaminação” além de um erro na leitura (falso consumo). A Figura 4 é a representação esquemática de uma bait-lamina.

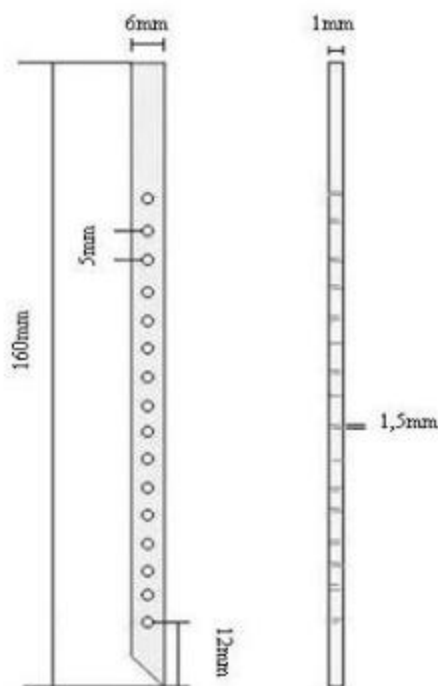


Figura 4 - Dimensões de uma bait-lamina de policloreto de vinila (PVC) com os 16 orifícios para preenchimento com a isca. Adaptado de Andre (2008).

3.5.2 Instalação das bait-lamina e avaliação da atividade alimentar

Para o experimento foram usadas 16 bait-laminas por ponto em, totalizando 64 por ambiente, 256 em todo estudo. As lâminas foram introduzidas verticalmente no solo com o auxílio de uma espátula de espessura semelhante, com o intuito de evitar perda de material e ou mesmo que a lâmina quebrasse ao serem introduzidas no solo.

Após o período de quinze dias expostas ao ambiente as lâminas foram levadas para o laboratório e armazenadas sob-refrigeração até a leitura. O tempo de quinze dias foi previamente estabelecido em um teste de campo nos mesmos locais.

Para a determinação do grau de consumo das iscas em cada orifício e de todas as lâminas foi avaliado conforme a norma ISO 18311 (2016) (Tabela 3).

Tabela 3 – Critérios de atribuição de notas conforme o grau de consumo da isca nos orifícios, de acordo com a norma ISO 18311. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

Critério	Consumo (considerando os dois lados)	Nota
Orifício aberto	$\geq 70\%$ da isca consumida	1
Orifício meio aberto	Entre 69% e 31% da isca consumida	0,5
Orifício fechado	≤ 30 da isca consumida	0

Para facilitar o processo de identificação do percentual de consumo foi usado um gabarito circular com seis seções representando 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de consumo, onde foram atribuídos os valores 0, 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente (Apêndice B). Ao somar os valores de ambos os lados do orifício tem-se uma aproximação do percentual total do consumo. Por exemplo, para um orifício ser considerado aberto (nota 1), um dos lados deveria ter valor 4 e o outro, pelo menos, valor 3, o que somaria valor 7 (= 70%). No entanto, se um lado tivesse valor 3 e o outro lado valor 2 (= 50%), o orifício era considerado meio aberto (nota 0,5).

Para a observação do consumo nos orifícios foi utilizada a ajuda de uma lupa de zoom ótico 3,5x e os valores atribuídos a cada lado tabulados e logo foram convertidos no critério de notas.

Para obter a média da atividade alimentar do consumo em cada área amostral utiliza-se a seguinte equação:

$$At_{\%} = \frac{\sum N_{bl}}{16} \times 100 \quad \text{sendo} \quad N_{bl} = \sum_{i=16}^{orif} nt$$

onde N_{bl} é a nota total do consumo das iscas em cada lâmina, 16 é o número de lâminas na unidade experimental e nt são as notas atribuídas a cada orifício de uma lâmina.

4 Resultados e discussão

4.1 Avaliação dos cromatogramas

4.1.1 Análise qualitativa dos cromatogramas

De modo geral a área A do cultivo de mandioca apresentou cromatografias que caracterizam um solo impactado pela falta de matéria orgânica e sem harmonia entre as zonas, como é apresentado na Figura 5.

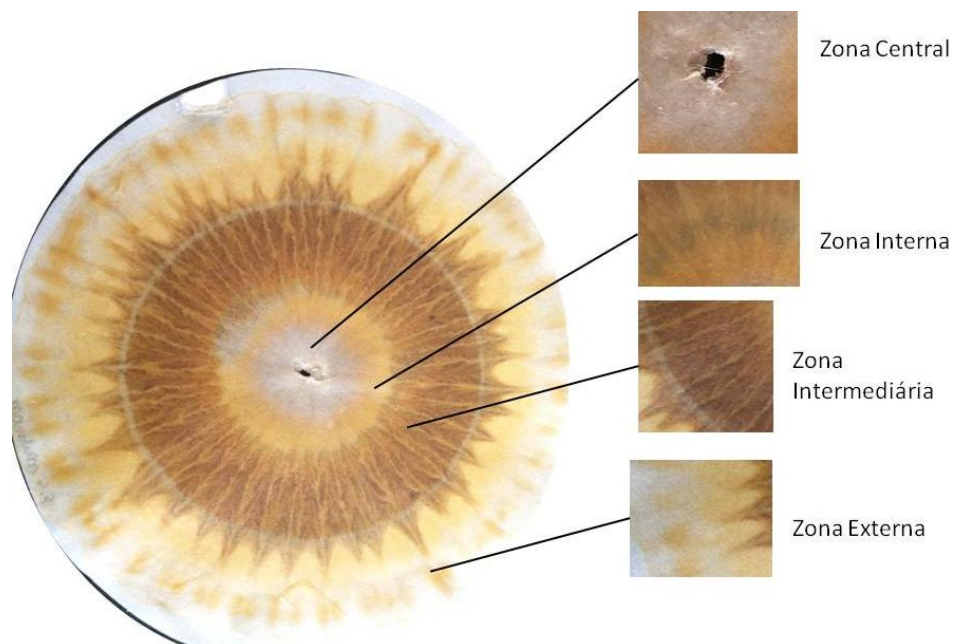


Figura 5-Cromatografia de Pfeiffer da área A do cultivo de mandioca. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

As amostras de solo do cultivo de mandioca na área A (figura 5) tiveram em seu cromatograma um padrão da zona central indesejada muito em decorrência do impacto causado no preparo do solo, com a aeração, revolvimento do solo, pela exposição direta das intempéries climáticas, características essas descritas por Rivera e Pinheiro (2015). A zona interna apresentou em uma coloração mais destoante do restante do cromatograma, seguida de um anel concêntrico. Kokornaczyk et al. (2016), ao analisar os parâmetros químicos do solo constataram que a formação de anéis concêntricos na zona interna é um indicativo de solos mais pobres, onde tal característica também foi observada por Siqueira (2018) e Pian

(2019). Em seguida a zona intermediária apresentou uma boa coloração e a formação de lanças pontiagudas e irregulares.

Na zona externa apresentou coloração marrom clara e com o início de formação de bolhas, característica de áreas onde há a atividade enzimática. A área de floresta A apresentou um croma harmônico e com integração entre as zonas e com coloração creme de maneira uniforme, conforme pode ser observado na Figura 6.

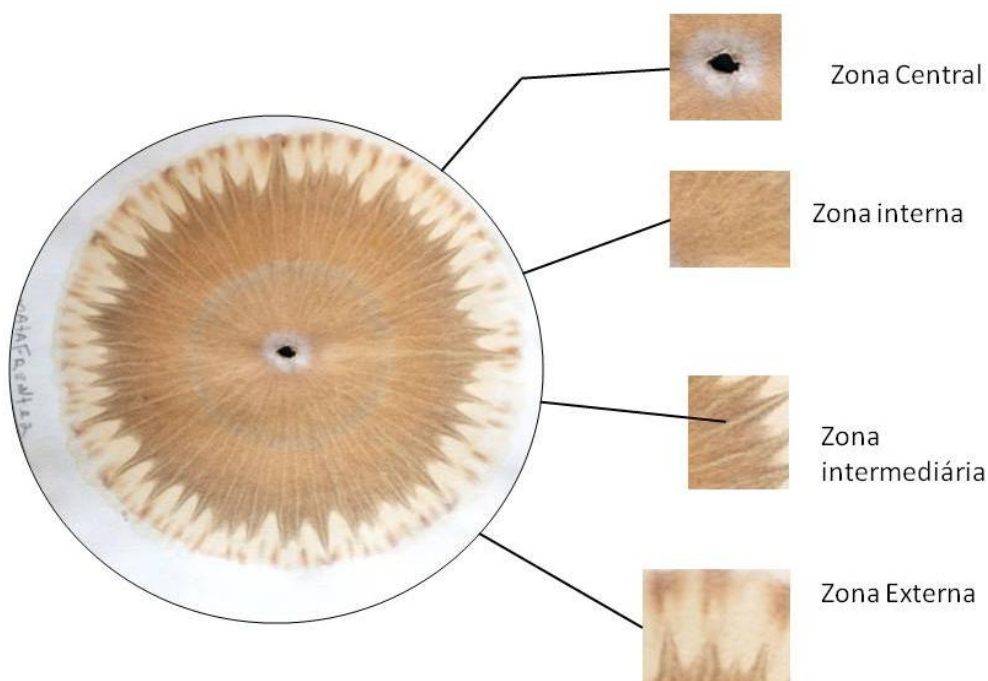


Figura 6-Cromatografia de Pfeiffer da área de Floresta A. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021

De forma geral, os cromatogramas da Floresta A (figura 6) apresentaram uma boa estrutura/forma, caracterizado por uma borda irregular, e coloração creme na zona central, indicando uma ótima oxigenação. Tal condição é característica de áreas onde não há intervenção antrópica, compactação do solo ou até mesmo excesso de nutrientes.

Na zona interna, também conhecida como mineral pode-se notar a formação sutil de reentrâncias e flechas entre as zonas ao redor, sua coloração creme é um bom indicativo de integração com a zona intermediária, que em termos de coloração pouco se difere o que é um ótimo indicativo que está ocorrendo à decomposição da matéria orgânica, além das terminações apresentarem-se de forma irregular e

pontiagudas. Por fim a zona externa apresenta formação de bolhas, o que sugere um bom indicativo de ácidos húmicos.

Os cromas analisados da área de cultivo de mandioca na área B apresentaram um padrão desarmônico, com expansão da zona central, uma pequena faixa entre as zonas interna e intermediária e uma zona externa em formato de “dentes de cavalo”, sendo o croma da área representado por meio da Figura 7.

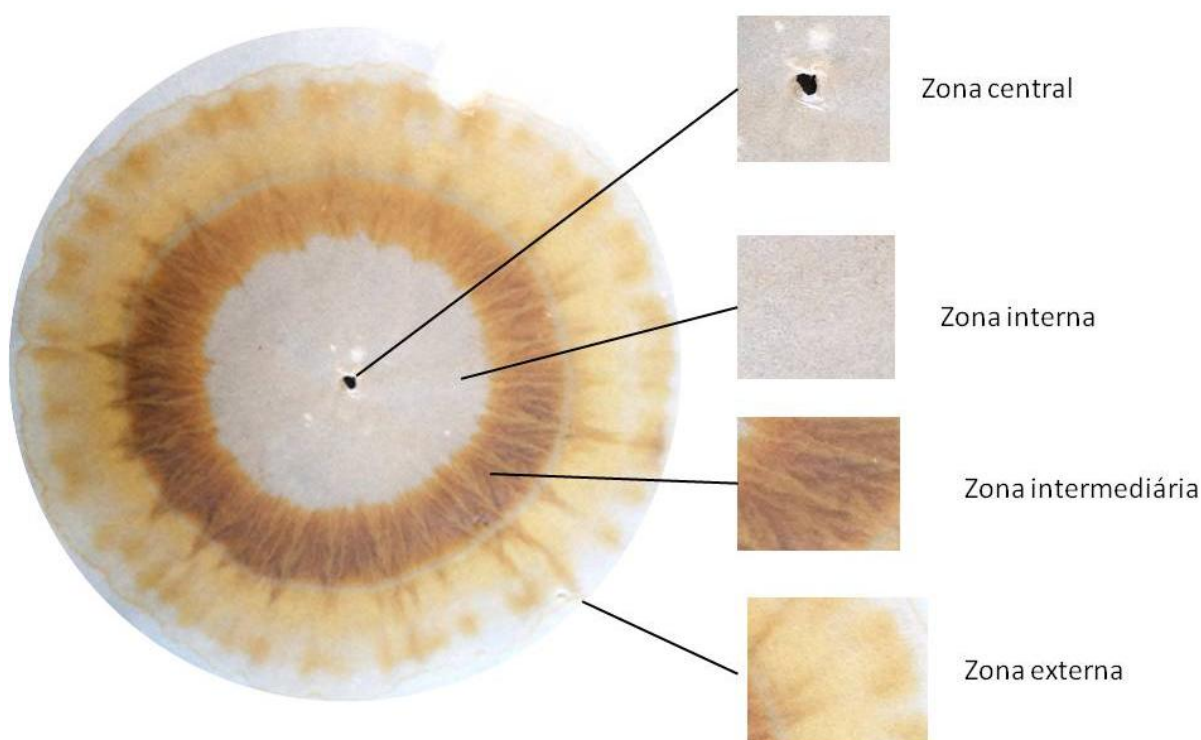


Figura 7-Cromatografia de Pfeiffer da área B do cultivo de mandioca. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

Os cromatogramas do cultivo de mandioca na área B apresentaram uma característica interessante quanto à zona central, que é a expansão e coloração branca, típica de ambientes que apresentam adubação com compostos nitrogenados (RIVERA; PINHEIRO, 2015). Uma hipótese levantada do que pode ter ocasionado à expansão da zona central além dos quatro centímetros é que mesmo após a retirada do canudo o nitrato de prata pode ter continuado a impregnar o papel filtro causando esse tipo de padrão nos cromas.

Saavedra et al. (2018) perceberam a mesma característica da coloração da zona central ao analisarem o solo de uma área onde os produtores usavam uma combinação de adubação sintética mais esterco. Já a zona interna foi praticamente inexistente, não sendo possível sua distinção, o que é grave problema, pois segundo

Restrepo e Pinheiro (2015) é característica de um solo altamente impactado pela compactação, mineralização, sem estrutura, atividade biológica e até mesmo de matéria orgânica.

A zona intermediária apresentou um anel marrom de coloração mais forte, para Rivera e Pinheiro (2015) tal característica é a representação da matéria orgânica não decomposta, além de que a zona intermediária não estar integrada com as outras zonas. Pela característica da zona pode-se alegar que não ocorre a formação de húmus muito menos atividade biológica e enzimática, um dos motivos para a zona interna não estar formada, uma vez que não há mobilização dos minerais no solo. Por fim a zona externa apresenta a formação de típica de ‘dentes de cavalo’, o que caracteriza a falta de atividade biológica e enzimática.

As amostras do ambiente de Floresta da área B apresentaram cromatogramas homogêneos, com ótima coloração e integração total entre as zonas, como é apresentado na Figura 8.

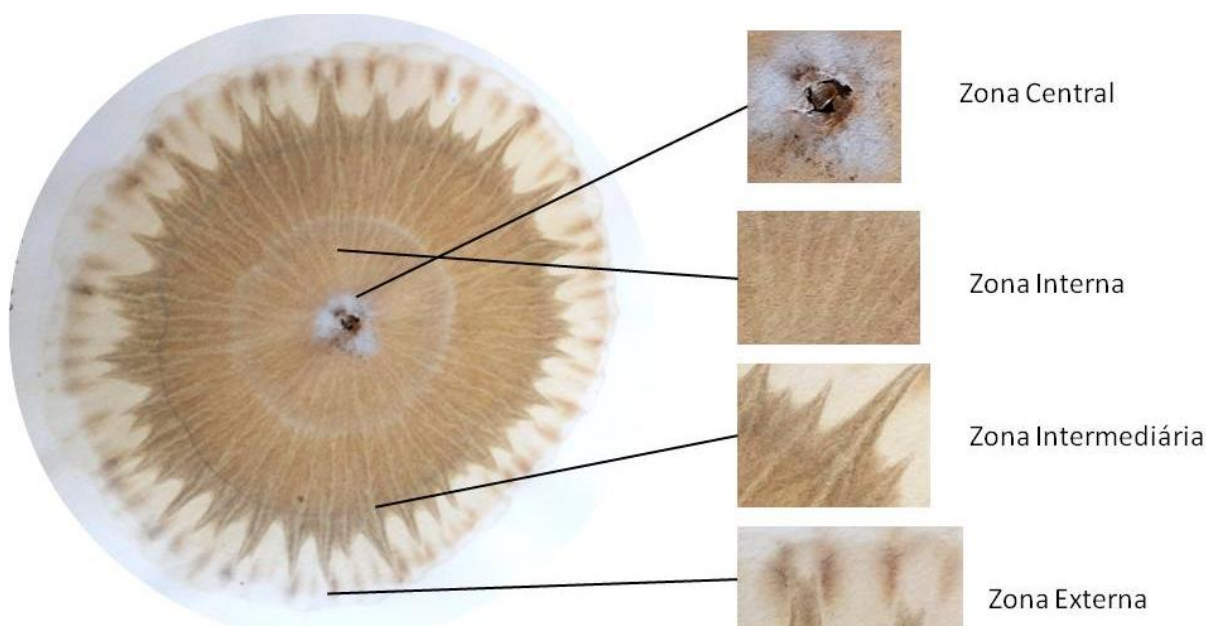


Figura 8-Cromatografia de Pfeiffer da área de Floresta B. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

A zona central teve uma cor creme clara, o que demonstra uma boa aeração, indicando a presença de bactérias aeróbicas. Na zona interna ocorre a integração com as demais, a zona intermediária com uma ótima formação de lanças pontiagudas e irregulares, o que representa uma diversidade mineral adequada no solo, que chegam até o final do cromatograma e por fim a sua coloração é um indicativo de

atividade biológica. Por fim a zona externa tem um início de formação de plumas e bolhas, sendo um ótimo indicativo de atividade enzimática.

Ao comparar os cromatogramas da Floresta nas duas áreas é possível observar resultado semelhante ao encontrado por Barros e Franco (2022). Ao avaliarem o cromatograma de uma área de mata ciliar constataram que a zona central apresentou coloração creme e a zona interna com integração com as demais zonas, enquanto na área intermediária e externa apresentam correlação com a matéria orgânica, indicando atividade biológica.

Sendo assim, o desenvolvimento da zona externa que apresenta formação de bolhas está relacionado à atividade enzimática, Graciano, Matsumoto e Demétrio (2020) demonstrou que a zona externa está correlacionada com a atividade enzimática, principalmente das enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase. A fosfatase ácida está relacionada ao fósforo do solo, onde ela atua na transformação do fósforo orgânico com a liberação do ânion fosfato, já a arilsulfatase é responsável pela catalisação da hidrólise de ésteres sulfatos com a liberação do ânion sulfato (GRACIANO; MATSUMOTO; DEMÉTRIO, 2020).

4.2 Análise quantitativa dos cromatogramas

Pode-se observar na Figura 9 que os cromatogramas das amostras de floresta nas duas áreas apresentaram notas médias equivalentes entre si e superiores às notas observadas nos cultivos de mandioca.

A nota média para os cromatogramas foi de 28.4, sendo possível afirmar que as notas das áreas de floresta podem ser classificadas como ótimas, entretanto as áreas de mandioca a que mais se aproximou da nota média foram à mandioca B, podendo ser classificada como péssima, todavia a área de mandioca A tendo a menor nota, 18.4 ficou abaixo da nota para classificação de péssimo, sendo assim podemos ter como parâmetro de boa qualidade do solo as áreas de floresta, principalmente a floresta A, que obteve maior nota média dos cromas, o mesmo ocorreu com Siqueira (2018) onde comparou uma área de mata ciliar com cultivos orgânicos e convencionais, onde a área de mata ciliar recebeu a maior média entre os cromas e a área de cultivo orgânico de lichia apresentou a segunda menor nota, à frente apenas de uma área de cultivo convencional de milho transgênico. O que

leva a necessidade de se averiguar melhor as condições do solo sob o manejo ecológico.

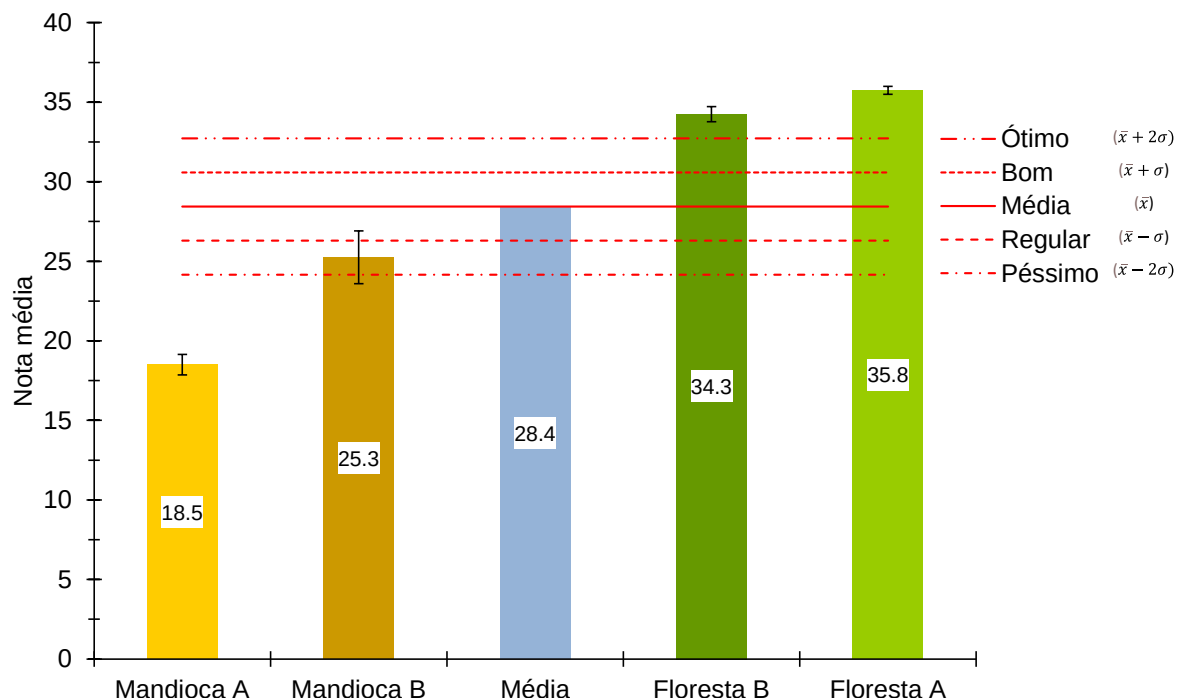


Figura 9 - Notas médias ($n=4$) das diferentes áreas analisada em relação à escala ordinal de qualidade (linhas vermelhas) proposta por Siqueira (2018). As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

A seguir, na Figura 10 temos a média das notas das zonas dos cromatogramas de acordo com as áreas avaliadas e pode-se perceber que as notas médias das zonas das áreas de floresta foram acima da média e próximas a máximas e podemos observar que como visto na Figura 9 as áreas de floresta obtiveram nota superior em comparação com as áreas de cultivo de mandioca.

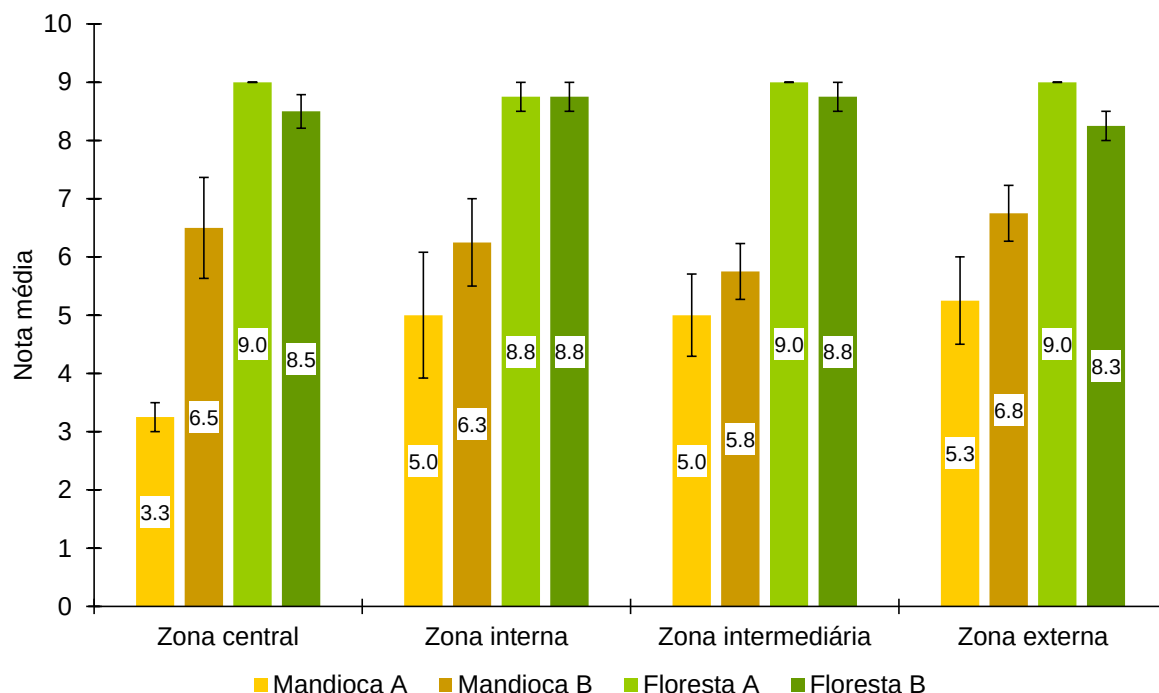


Figura 10 Notas médias (n=4) alcançadas em cada local avaliado considerando as diferentes zonas dos cromatogramas. As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

Nas amostras de floresta têm-se fatores ambientais como a temperatura e umidade do solo constante, dossel se apresenta fechado, além disso, há também uma alta disponibilidade de serrapilheira, tanto em quantidade quanto em diversidade, o que leva a uma melhor e maior disponibilidade de matéria orgânica para os macro e micro organismos, refletindo na qualidade do solo.

A zona central relacionada com as características físicas do solo, como compactação, e sua capacidade de retenção de água. Nota-se que as zonas centrais das áreas de floresta apresentaram notas próximas à máxima podemos insinuar que as condições físicas do solo estão refletindo de maneira positiva na qualidade do solo, o que leva a formação de uma zona de coloração creme de borda irregular.

As zonas internas das áreas de floresta também apresentaram nota acima da média, o que sinaliza a disponibilidade de nutrientes no solo, a capacidade do acúmulo de nutrientes é importante para o sistema edáfica, uma vez que vem a funcionar como depósito de nutrientes a partir de resíduos orgânicos, sendo através da decomposição e da ciclagem de nutrientes pela fauna e micro-organismos do solo a razão substancial pela efetividade disposição dos nutrientes.

De acordo com Primavesi (2002) a matéria orgânica ao atuar nas propriedades físicas, fornece agregadores que são responsáveis pela sua forma grumosa, sendo estável nas camadas de 0-20 cm de profundidade, o que a coloca como um dos fatores determinantes para a estruturação de agregados.

As notas das zonas intermediárias e externas não foram diferentes das outras, ambas estão visceralmente ligadas pela matéria orgânica do solo. A zona intermediária representando rigorosamente a MOS, onde podemos afirmar que a ela está biologicamente ativa, tanto pela sua coloração quanto pelo seu tamanho e integração com as zonas interna e externa. Por fim as zonas externas dos cromatogramas das áreas de floresta apresentaram a formação de nuvens e bolhas o que é um ótimo indicativo da atividade enzimática.

Nas áreas de cultivo de mandioca temos médias baixas para todas as zonas dos cromatogramas. Nas zonas centrais destacam-se pela sua coloração indesejada, escura e completamente branca bem definida, características essas consideradas por Rivera e Pinheiro (2015) como o resultado da mecanização pesada e exposição ao sol em decorrência da falta de cobertura vegetal, o que influencia na coloração escura. Já a coloração esbranquiçada se deve pelo uso de fertilizantes de base nitrogenada, que ao reagir com o nitrato de prata forma um precipitado de coloração branca.

Com o revolvimento e aplicação da cama aviária no solo a matéria orgânica será enterrada e oxidada, com isso a MO produzirá amônia e passará pelo processo de amonificação e posteriormente nitrificação, que será importante para os micro-organismos do solo. Como não existe um sistema de tamponamento, função essa que seria da cobertura do solo, o nitrogênio está sendo extraviado do solo.

Na zona interna o desenvolvimento radial está entre o não ideal e o ideal, pois em ambas as áreas de mandioca o seu desenvolvimento não parte da zona central até as zonas intermediária. Na área B da mandioca, os cromas além da que sua coloração não ser característica seu desenvolvimento radial indica que o solo foi impactado pela mecanização, o que levou a sua desestruturação. A zona intermediária apresentou uma coloração marrom escura, forma circular com a borda pouco pontiaguda, sem integração com as demais zonas, aspecto esse de uma matéria orgânica escassa, mumificada e sem a capacidade de formação de húmus. Vale ressaltar que a linha presente entre as zonas é um indicativo de falta de um manejo adequado, como a falta de cobertura vegetal. Por fim as zonas externas

mesmo presentes, foram de coloração marrom clara e com manchas marrons pouco definidas e com dentes grandes e irregulares sem formação de bolhas. Tais atributos são de áreas sem atividade biológica e enzimática.

Nesse sentido a Cromatografia de Pfeiffer indicou que mesmo utilizando técnicas de manejo ecológico como a adubação orgânica a base de cama aviária, entretanto sem a cobertura do solo adequada houve impacto negativo na microbiologia do solo.

4.3 Análise quantitativa da Zona Central dos cromatogramas

Na Figura 11 tem-se o valor médio da zona central dos cromatogramas, onde se verifica a alta correlação negativa com teor de argila ($r=-0,88$), todavia apresentou correlação positiva com o teor de fósforo ($r=0,78$) do solo das amostras. Além de que não mostrou correlação tanto com pH quanto com o teor de cálcio, tampouco com a abundância e riqueza de invertebrados.

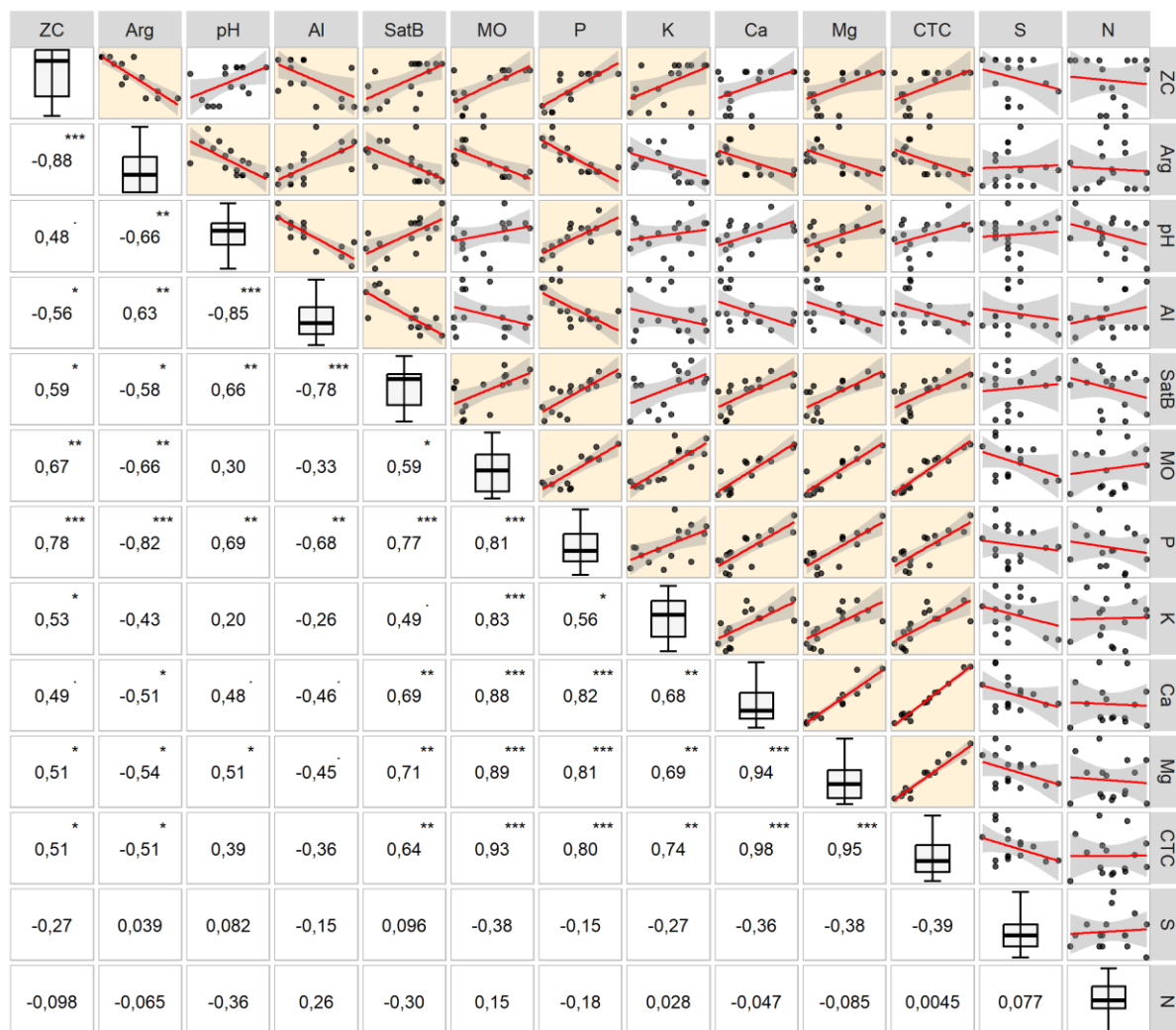


Figura 11 - Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona central (ZC) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm^{-3}); K, teor de potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Ca, teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Mg, teor de magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.

Para Brady e Neil (2013) a argila um dos componentes com papel fundamental na estruturação do solo, pois influencia diretamente na capacidade de troca catiônica, disponibilidade de água e nutrientes, além de capacidade de interferir na dinâmica da matéria orgânica.

Isso foi visto nos dois cromas nas áreas de plantio de mandioca, visto que a zona central apresentou uma coloração escura, o que para Restrepo e Pinheiro

(2015) é característico de um solo compactado, isso se deve também ao impacto da compactação em decorrência do preparo do solo.

Ainda segundo Brady e Weil (2013) pode-se inferir que algumas características de solos com concentração de argila adequada, principalmente quando se trata de sua fração coloidal (argila mais fração húmica) possui a capacidade de agregação de cátions com maior facilidade, a atração catiônica por íons como Al^{3+} , Mg^{2+} , K^+ é uma dessas características. O que é corroborado com o gráfico, pois os tais elementos tiveram correlação altamente significativa e positiva com a zona central, quanto maior os níveis desses elementos maiores foram as notas dadas para a zona.

Para os elementos como matéria orgânica, fósforo, potássio e sua relação positiva com a zona central pode-se destacar a capacidade da matéria orgânica ao passar pelo processo de decomposição, segundo Primavesi (2002) a MO possui a capacidade de imobilizar e/ou liberar no ambiente nutrientes como enxofre, fósforo e nitrogênio.

A presença do fósforo como mineral indica que a área não está sofrendo com intempéries climáticas, menor lixiviação, além de que com a ação decompositora dos micro-organismos a fração do fósforo que acaba por ser disponibilizada é na forma orgânica, estável e que pode sofrer menor retenção de seus íons na superfície. Para Brady e Weil (2013) o fósforo possui grande capacidade de se ligar com o solo, principalmente em solo que possuem argila, o que diminui sua capacidade de mobilidade e sua perda ocorre principalmente através da erosão.

Vale destacar a baixa correlação entre a argila e o fósforo, uma vez que como dito anteriormente, o fósforo é um mineral de baixa mobilidade e a argila possui capacidade de agregação muito elevada, o que dificulta sua locomoção no solo. Bronick e Lal (2005) constataram que o fósforo possui uma melhor correlação em solos arenosos, pois solos desse tipo possuem maior granulometria, o que favorece sua mobilidade. Correlação essa que também foi encontrada por Melo (2020), onde a relação fósforo argila foi negativa, por haver maior reatividade entre a superfície das partículas argilosas.

Para Gatiboni et al. (2014), ao realizar a aplicação de fosfato em áreas onde a adição desse mineral é maior que o usado pelas culturas, existe a propensão do acúmulo nas camadas do solo onde a aplicação, onde com o efeito do tempo a criação de uma camada com maiores níveis de concentração.

Nos solos das áreas de floresta o teor de argila foi menor do que nas áreas de cultivo, consequentemente as notas e os padrões da zona central dos cromatogramas foram melhores em comparação com as áreas de cultivo de mandioca.

Para Rivera e Pinheiro (2015) é através da zona central quando apresenta características de um bom manejo ele se encontra integrado com as demais zonas. Um solo com matéria orgânica disponível e com uma boa capacidade de aeração resulta em uma atividade biológica positiva para o solo, uma vez que as bactérias aeróbicas usam o oxigênio do solo para catalisar suas reações e liberam enzimas capazes de biodisponibilizar os minerais que são essenciais para o desenvolvimento das plantas.

4.3.1 Análise quantitativa da Zona interna dos cromatogramas

A ZI é a área relacionada com os minerais, as variáveis que mais se relacionaram positivamente foram à matéria orgânica (0,71***), potássio (0,73**) e fósforo (0,71**), a capacidade de troca catiônica (CTC) (0,64**), junto com magnésio (0,61*) e por fim o cálcio (0,58*), como apresentado na Figura 12.

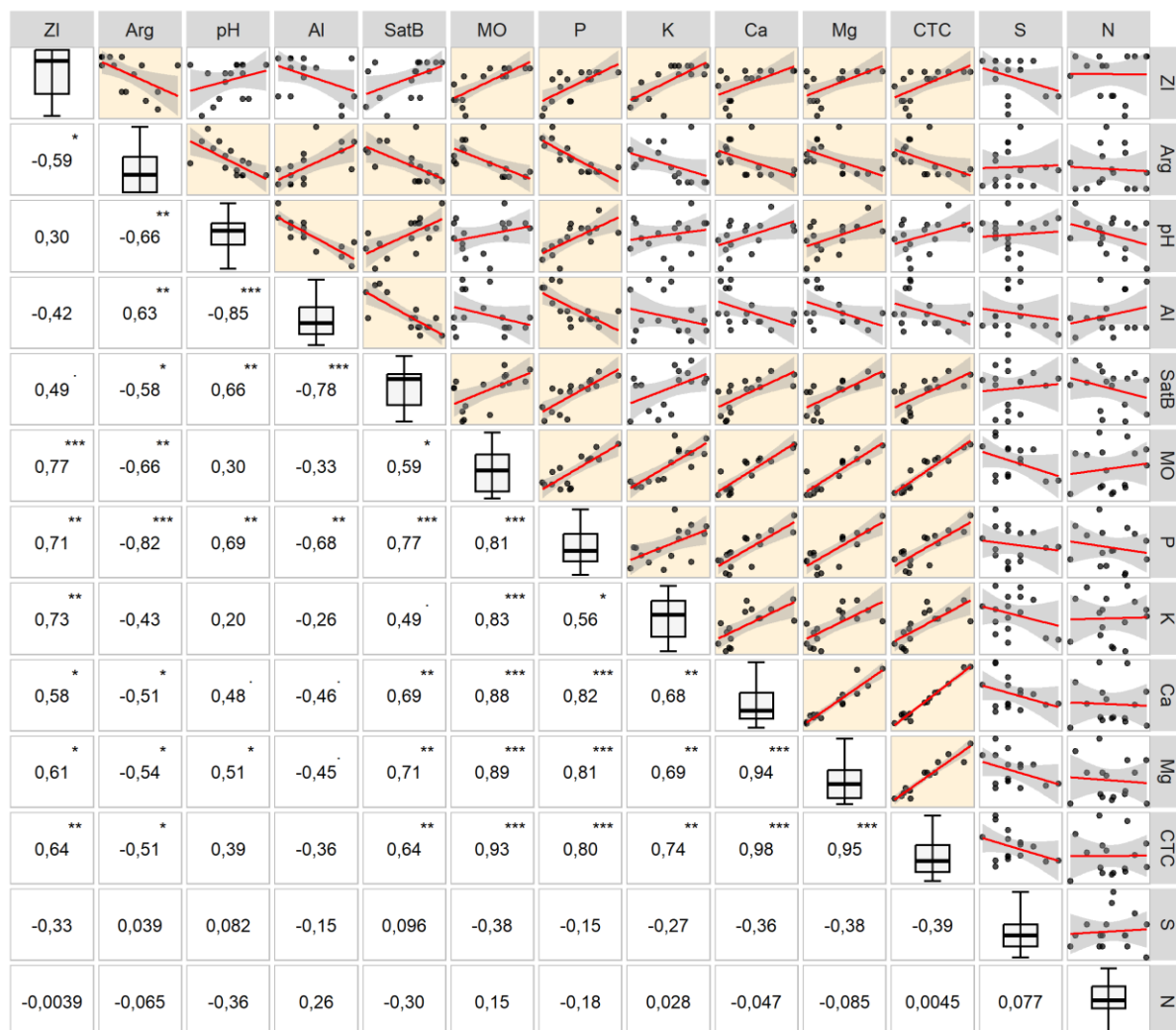


Figura 12 - Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona interna (ZI) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm^{-3}); K, teor de potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Ca, teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Mg, teor de magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.

A zona interna também denominada de ela a zona mineral, uma vez que concentra a grande maioria das reações dos minerais na cromatografia, apresentou uma relação extremamente positiva com minerais, nitrogênio, fósforo, potássio, junto com magnésio e cálcio. Para Brady e Neil (2013) os nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio e enxofre são os mais requisitados pelas plantas do que os micronutrientes, além de que nutrientes como, por exemplo, o cálcio é um

macronutriente secundário de fundamental importância na dinâmica do solo, pois possui capacidade de diminuir a acidez e a toxicidade do alumínio.

Rodríguez et al. (2021) apresentam em seu trabalho correlações positivas entre o potássio e as zonas do cromatograma, para Rodríguez a relação é mais forte na zona interna, um fator importante é que o mineral tem um potencial maior em solos argilosos, característica do solo da região onde ocorreu o experimento. Outro fator que interfere na concentração de potássio no solo é a alta CTC e seu poder de tampão, uma vez que o solo possui maior capacidade de manter de maneira razoável e constante os suprimentos desse íon no solo.

A capacidade de troca catiônica pode ser considerada uma das características mais importantes do solo, quando se trata de propriedades físico-químicas, já que é a evidência que o solo possui aptidão necessária de reter e trocar íons positivos em sua superfície coloidal. De acordo com Brady e Neil (2013) o intemperismo e as baixas concentrações de argila no solo interferem negativamente na capacidade da troca catiônica, sendo assim solos com baixa intensidade de intemperismo e com cargas negativas nos coloides de argila apresentam maior capacidade de troca catiônica.

Melo (2020) e Allen et al. (2016) em seus estudos também demonstraram uma forte relação entre o Ca^{2+} e a capacidade de troca catiônica, Zuber et al. (2015) afirmam que a CTC do solo representa o potencial aumento da liberação de vários nutrientes, o que favorece a fertilidade por períodos mais prolongados. Para Kokornaczyk et al. (2016) a formação radial na zona interna tem relação direta com a presença de matéria orgânica, sendo essa característica muito positiva para avaliação da qualidade do solo, já que está relacionada com o alto teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo.

4.3.2 Análise quantitativa da Zona intermediária dos cromatogramas

Na zona intermediária a argila voltou a ter a maior correlação, 88% negativa, ou seja, quanto mais argila, menor foi a nota, sendo que foi altamente significativa. Novamente a matéria orgânica e o fósforo tiveram correlação semelhante àquela que foi observada na zona interna, ficando acima de 70% e sendo extremamente significativas como se pode observar na Figura 13.

Essa relação também se repetiu na zona interna, pois como a zona intermediária possui ligação com a matéria orgânica, com as proteínas do solo, ou seja, com a atividade biológica, essa ligação entre a matéria orgânica e o fósforo é importante, pois o incremento desde mineral está relacionado com a dinâmica do uso do solo, especialmente pelo manejo da cobertura e biomassa vegetal (SONMEZ; PIERZYNSKI, 2017).

Para Burle e Figueiredo (2019) a formação da zona intermediária e da zona externa está visceralmente relacionada com a zona central e sua atividade biológica, pois a na presença de oxigênio os micro-organismos aeróbicos estão ativos, o que leva a uma melhor decomposição da matéria orgânica.

Novamente a argila teve papel importante na relação com a matéria orgânica, mesmo que negativamente, pode-se inferir que devido ao manejo ocorreu a compactação do solo, retirando o oxigênio dos poros aumento assim sua densidade. Segundo Braida et al. (2006) solos com menor teor de matéria orgânica tentem a ter maior susceptibilidade de compactação, visto que os solos do cultivo de mandioca tiveram influência antrópica, em decorrência do maquinário usado para o preparo do solo, além da falta de cobertura vegetal no solo.

4.3.3 Análise quantitativa da Zona externa dos cromatogramas

Sendo a zona externa aquela relacionada com enzimas e nutrientes, podemos perceber que a argila ainda é que mais teve correlação negativa com a zona, sendo altamente significante estatisticamente. Novamente a matéria orgânica e o fósforo apresentaram correlação de 56% e 61%, correlação entre mais abaixo que nas zonas anteriores analisadas, sendo que sua significância estatística foi de apenas 0.05. A Figura 14 demonstra as correlações da zona externa com as demais variáveis.

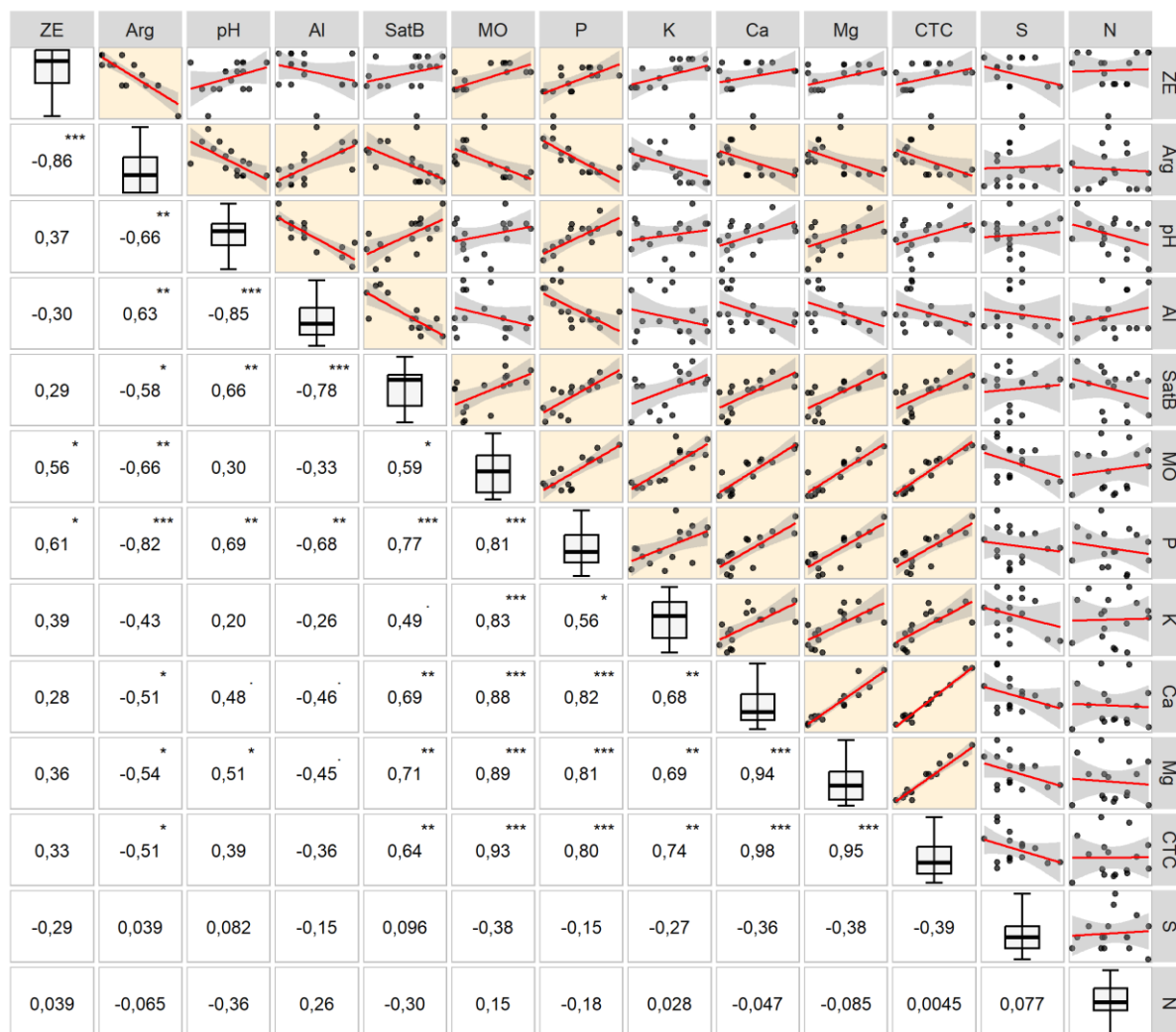


Figura 14 - Matriz de correlação de Pearson entre as notas da zona externa (ZE) de todas as amostras (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: Al, teor de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm^{-3}); K, teor de potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Ca, teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Mg, teor de magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); S, riqueza de grupos taxonômicos da edafofauna; N, abundância de indivíduos da edafofauna. Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.

Novamente os principais fatores de correlação foram à argila, a matéria orgânica e o fósforo. Pode-se perceber como nas outras zonas a influência da argila na qualidade física, química e biológica do solo. A matéria orgânica teve influência em praticamente todas as zonas do cromatograma. Rodriguez et al. (2021) observaram que a matéria orgânica além de estar relacionada com a zona central, também se relaciona com desenvolvimento das nuvens na zona externa. Razera et

al. (2021) também obtiveram correlação positiva entre o desenvolvimento da zona externa com o teor da matéria orgânica.

Para Siqueira (2016) o processo de decomposição está relacionado com processos como a agregação e a manutenção da estruturação do solo em decorrência da mineralização dos nutrientes, humificação da matéria orgânica, além da síntese de inúmeras substâncias, como enzimas e compostos nitrogenados. O mesmo autor encontrou a formação de bolhas na zona externa ao utilizar a palhada de feijão e milho como cobertura morta o que veio a corroborar com Siqueira (2018) e com presente trabalho, pois houve a formação de bolhas nos cromatogramas que tiveram maior aporte de serrapilheira.

Sendo assim, para Aguirre et al. (2019) a zona externa do cromatograma é relacionada com a diversidade e abundância dos nutrientes do solo, o que reflete na formação das nuvens. Além de ser um ótimo indicador para a atividade biológica, a zona externa está ligada principalmente a atividade enzimática. Graciano; Matsumoto e Peixoto (2020) relacionam principalmente três enzimas, a fosfatase, a arilsulfatase e a β -glucosidade, sendo a fosfatase e a arilsulfatase as que tiveram maior correlação positiva com a zona externa.

A relação da zona externa com o fósforo pode estar ligada com a enzima fosfatase, já que para Kedi et al. (2013) a manutenção da fosfatase ácida no solo tem capacidade de proporcionar o fósforo em sua forma orgânica, sendo a hidrólise catalítica importante para disponibilizar esse nutriente no ambiente.

Pode-se resaltar que também que a atividade da enzima arilsulfatase está ligada diretamente a disponibilidade do enxofre no solo, uma vez que segundo Vong et al. (2003), as bactérias realizam a liberação da enzima no ambiente como resposta a limitação do enxofre no solo.

De acordo com Mendes et al. (2019) e Lopes et al. (2013) como a atividade enzimática e principalmente da arilsulfatase tem sido recomendada como uma bioindicadora sensível à degradação dos solos, uma vez que pode demonstrar de forma prematura possíveis alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo, nas propriedades químicas e físicas.

Segundo Nogueira e Melo (2003), o aporte de matéria orgânica é fundamental para a atividade da arilsulfatase, pois ela configura como principal fonte de reserva dos ésteres de sulfato.

4.4 Análise quantitativa integrada dos cromatogramas

De forma geral a argila, o fósforo, e a matéria orgânica foram fortemente correlacionados com a nota geral dos cromatogramas. A argila foi a que maior apresentou correlação, sendo ela negativa de 89%, seguida pelo teor de fósforo (0,80*) e a matéria orgânica (0,76*). Ou seja, foram as variáveis que mais influenciaram nas notas dos cromatogramas. Os demais valores da correlação de Pearson e o P-valor estão no apêndice C.

Conforme Silva et al. (2005), a deposição da argila nos poros e sobre os grãos de quartzo levam a um rearranjo das partículas, de forma mais compacta, aumentando assim o adensamento nas camadas mais superficiais. De acordo com Ribon e Tavares Filho (2008) a resistência do solo a penetração é um importante atributo de avaliação de qualidade física do solo, uma vez que pode ser relacionado com outros atributos indicativos de compactação, o que com consequência leva a diminuição das trocas gasosas, a dificuldade de passagem da água pelo solo e a mobilidade dos minerais.

Embora varie com o solo e com a espécie cultivada, a resistência do solo à penetração é ocasionada por atividades antrópicas, de forma continuada e mal-planejada (STEFANOSKI et al., 2013). A utilização de maquinário pesado para o preparo do solo é um dos principais agentes causadores da compactação do solo, causando modificações que impedem a retenção de água, em decorrência da diminuição da macroporosidade.

Entretanto susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica, porém, a textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade do solo determinarão a magnitude e o tipo de efeito (BRAIDA et al., 2010).

A cobertura do solo é fundamental para a regulação da temperatura e umidade do solo, trazendo melhorias físicas, químicas e biológicas, além de tornar o solo mais resiliente, além de que, ao manter a cobertura do solo e seu aporte constante de resíduos ocorre um acréscimo de fertilidade em decorrência da ação dos micro-organismos ao decomporem a matéria orgânica. Como fonte principal de aporte de nutrientes e fator principal para a disponibilidade do fósforo no ambiente, pode notar que a presença da matéria orgânica é fundamental para o equilíbrio e para a fertilidade do solo.

De acordo com Primavesi (2002) a matéria orgânica além de ser utilizada como a principal fonte de energia pelos micro-organismos do solo, ademais é substancial para a ciclagem de nutrientes, diminuição da densidade do solo, estabilização dos agregados e aumento dos sítios de troca catiônica.

Pode-se observar as correlações entre notas das cromatogramas e suas variáveis na Figura 15

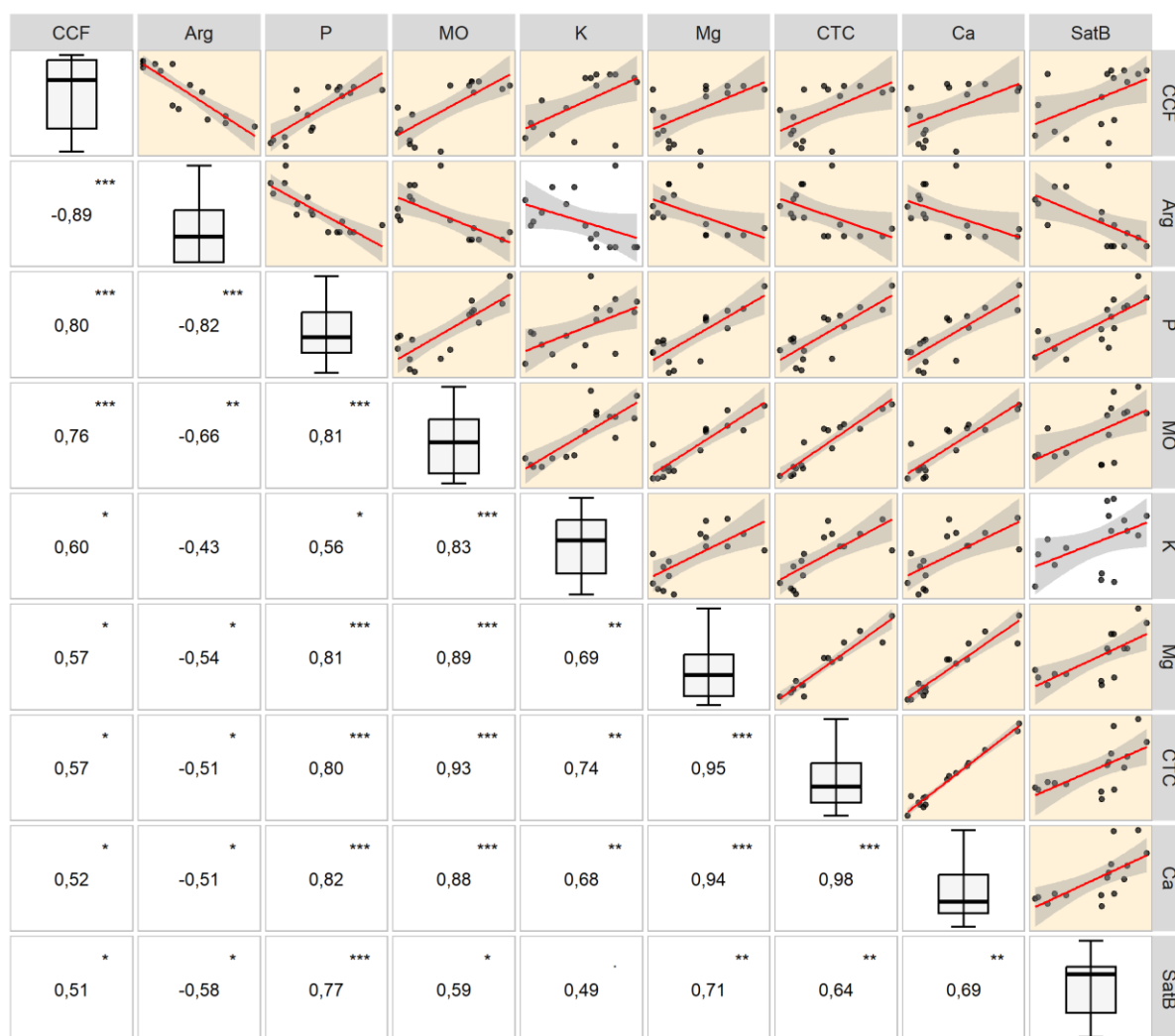


Figura 15 - Matriz de correlação de Pearson entre as cromatografias (n=16) e características físicas e químicas do solo e valores da riqueza e abundância das amostras. Legenda: SatB, saturação por bases (%); MO, matéria orgânica (%); P, teor de fósforo Mehlich (mg dm^{-3}); K, teor de potássio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$); Ca, teor de cálcio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$); Mg, teor de magnésio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$); CTC, capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$); Na matriz inferior, os números indicam o coeficiente de correlação entre as variáveis e ***, ** e * indicam significância estatística no nível de 0,001, 0,01 e 0,05, respectivamente. Na diagonal é apresentado um gráfico boxplot com a distribuição dos valores da variável. Na matriz superior é mostrado um scatter plot dos dados da variável, com a reta de regressão e intervalo de confiança. A tonalidade alaranjada dos quadros indica algum grau de significância entre as variáveis.

4.5 Notas da Cromatografia de Pfeiffer e parâmetros biológicos

A cromatografia de Pfeiffer foi o método que melhor permitiu discriminar os quatro ambientes (Figura 16 A), além de apresentar erro médio das amostras relativamente baixo, indicando uma possível diferença estatística entre as áreas.

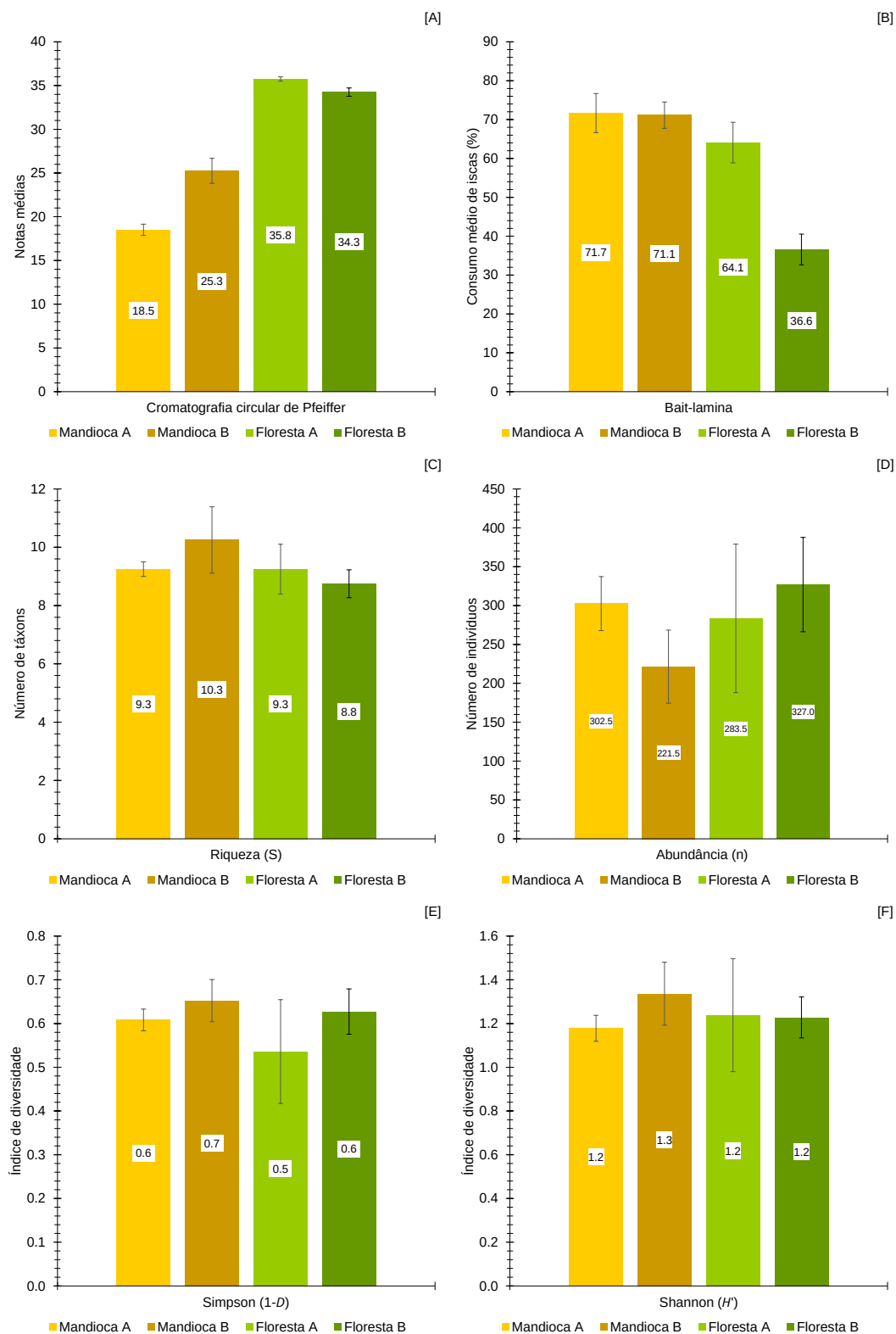


Figura 16 - Comparação entre diferentes estratégias e métodos de avaliação do solo em riqueza, abundância, diversidade, consumo alimentar e Cromatografia de Pfeiffer. As linhas sobre as colunas representam o desvio padrão da média. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. Março-Abril 2021.

O consumo alimentar das bait-laminas (Figura 16 B) foi menor nas áreas de floresta do que nas áreas de cultivo de mandioca. Esse resultado pode ser explicado pelo fato do solo da floresta ter maior teor de matéria orgânica o que pode ter diluindo o interesse dos organismos edáficos pelas iscas nas bait-laminas além do solo estar protegido contra as intempéries climáticas. Contudo, possivelmente apenas a área de floresta B tenha um consumo alimentar estatisticamente inferior às demais áreas, conforme se percebe pelo comprimento das barras de erro.

Além disso, com o revolvimento/aração do solo nas áreas de cultivo do solo a matéria orgânica foi incorporada nas camadas mais profundas, tornando as iscas das bait-laminas a principal fonte de alimento para os organismos presentes na superfície. Por outro, no solo mais exposto das áreas de cultivo de mandioca às intempéries do tempo, como radiação solar e temperatura, a atividade alimentar da fauna do solo também pode ser afetada. Gongalsky et al. (2008), em um ensaio laboratorial constataram que a temperatura teve um efeito maior sobre o padrão alimentar da fauna edáfica do que a umidade, os pesquisadores observaram que o consumo das iscas tende a aumentar conforme o aumento da temperatura. O que é corroborado por Andre (2008), segundo o autor, a estação climática é a principal responsável pela atividade biológica da fauna edáfica, especialmente em estações mais quentes, como primavera e verão. As áreas de floresta por possuírem dossel coberto impedem a entrada direta dos raios solares.

Segundo Tully e Lawrence (2012) e Souza et al. (2016) a copa das árvores possui função de atenuar a incidência de raios solares o que por sua vez promove um microclima e com menores taxas de evaporação da água. De acordo com May et al. (2008) a cobertura do solo é fator importante para a diminuição da evapotranspiração do horizonte superior do solo e portanto aumentando a retenção da umidade.

Quanto à riqueza e abundância da fauna epiedáfica (Figuras 16 C e D), as quatro áreas tiveram resultados heterogêneos, com as barras de erro médio das amostras se sobrepondo umas às outras. Percebe-se inclusive que para a abundância as barras de erro são relativamente grandes, indicando uma dificuldade em prática no método PROVID com apenas quatro amostras no contexto em que o trabalho foi realizado.

No total foram coletados 2.094 indivíduos nas áreas de mandioca e 2.442 nas áreas de floresta adjacente, distribuídos em 18 grupos taxonômicos (Apêndice D).

As ordens Collembola e Diptera foram as que mais predominaram em ambos os ambientes de 54,92% e 27,38%, respectivamente. Estudos sobre fauna edáfica onde avaliando seu comportamento em distintos manejos do solo foram observados que os colembolos destacavam-se entre os demais grupos do solo (BARETTA et al., 2006; GÓES et al., 2021).

Pessotto et al. (2020) também observaram que na área de reflorestamento a dominância do grupo de collembola interferia negativamente na dinâmica de outras espécies, uma vez que o grupo foi o mais dominante e fez com que o índice de Shannon fosse menor quando comparado com uma área de lavoura e outra de campo nativo. Pompeo et al. (2016) observaram a predominância de collembolos independente das áreas estudadas, área de reflorestamento de pinus, mata nativa ou campo nativo.

De acordo com Antoniolli et al. (2006), o grupo dos collembolos é amplamente distribuído e abundante tanto no solo quanto na serrapinheira. Baretta et al.,(2006), ao realizar um estudo em diversos tipos de manejo (manejos convencionais e conservacionistas), os tratamentos que mais simplificavam o ambiente, foram os mais favoráveis para o crescimento populacional dos colêmbolos, chegando a representar mais de 75% da ocorrência total. Isso demonstra a capacidade desses indivíduos de ocuparem todos os ambientes possíveis pela sua capacidade de adaptação e sua relação com atributos físicos e químicos, principalmente MOS e pH.

Vale destacar que com a adição de cama aviária houve a melhora de aspectos químicos e físicos do cultivo, em um estudo Silva et al. (2015) foi observado que a sucessiva adição de dejetos suínos levou a uma manutenção da qualidade do solo, principalmente em seus aspectos químicos. Segundo Ribeiro et al.(1999) a adubação orgânica, principalmente com a cama aviária tende a melhorar a capacidade de troca catiônica em solos intemperizados, melhoria na agregação das partículas, melhor capacidade de retenção de água, aumento da disponibilidade de nutrientes, além da mineralização e diminuição da fixação do fósforo no solo.

Em seu estudo Góes et al. (2021) também destacaram a presença do grupo díptera como sendo um dos mais abundantes na área de mata nativa. Para Casaril et al. (2019) a presença do grupo é fundamental para compor a abundância da fauna do solo nos ecossistemas, apesar de na maioria das vezes estarem associados a sua fase larval, ainda de acordo com o autor estes depositam suas larvas em

ambientes com condições ambientais favoráveis (alta umidade, disponibilidade de matéria orgânica), além de que servem de alimento para outros organismos.

Da mesma forma, os índices de Simpson e de Shannon (Figura 16 E e F), baseados na riqueza e abundância obtidas nas amostras, também não permitiram uma melhor discriminação das áreas estudadas, uma vez que as barras de erros se sobrepuseram em todas as comparações, indicando uma possível não diferença estatística.

Segundo Souto et al. (2008), os valores para Shannon variam entre 0 e 5, onde a maior dominância de alguns grupos pode vir a resultar na diminuição do valor, além de que a diversidade de espécies está intrinsecamente conectada com a relação entre a quantidade de espécies e a sua distribuição no número de indivíduos entre as espécies. Lima, Souza e Pederassi (2016) assumiram que valores entre 1,5 e 3,5 podem ser considerados elevados. Sendo assim os valores nas áreas de mandioca e de floresta podem ter sido influenciados pela dominância de colêmbolos e dipteros.

5 Considerações finais

A Cromatografia de Pfeiffer permitiu uma melhor discriminação das áreas estudadas em comparação com outros métodos de avaliação da diversidade e atividade biológica do solo. Sendo assim a metodologia tem potencial de complementar a caracterização ecológica do solo em sua perspectiva agroecológica.

Ao avaliarmos a correlação dos atributos do solo físicos e químicos com a cromatografia de Pfeiffer averigou-se que o teor de fósforo e de matéria orgânica foram as variáveis que melhor se correlacionaram positivamente com as notas dos cromatogramas, tanto na avaliação por zona quanto na avaliação integral dos cromas. Destaque para a correlação negativa que o teor de argila teve com todas as zonas do cromatograma e com o teor de matéria orgânica e com fósforo, uma vez que ela é um indicador de compactação do solo.

Já a atividade alimentar dos organismos do solo e os índices de diversidade da fauna epiedáfica não conseguiram discriminar claramente as áreas estudadas. Além de não ter se observado correlação significativa dos índices ecológicos como a cromatografia.

As áreas de cultivo de mandioca, mesmo sob manejo ecológico, apresentaram cromatogramas com notas inferiores às observadas nas áreas de floresta, podendo ser classificadas entre regular e péssimo, o que leva a considerar que a cromatografia de Pfeiffer pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar no manejo das próximas culturas.

Acredita-se ser necessário um maior esforço amostral para validar as metodologias no contexto em que o trabalho foi realizado.

Referências

- ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101–111, 2016.
- AGUIRRE, S E.; PIRANEQUE, N.V.; DÍAZ, C. J. Valoración del estado del suelo en zona de bosque seco tropical mediante técnicas analíticas y cromatogramas. **Información tecnológica**, v. 30, n. 6, p. 337-350, 2019.
- ALLEN, K. et al. Spatial variability surpasses land-use change effects on soil biochemical properties of converted lowland landscapes in Sumatra, Indonesia. **Geoderma**, v. 284, p. 42-50, 2016.
- ALMEIDA, H.S. et al. Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 15-23, 2017.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecologia: resgatando a agricultura orgânica a partir de um modelo industrial de produção e distribuição. **Ciência & ambiente**, v. 27, p. 141-152, 2003.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- ALVAREZ, H.J.G. **Diversidade, taxonomia e distribuição da tribo Oryctini (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) para a Amazônia Brasileira**. 2008.128f. Dissertação (Mestrado em Biologia e Recursos Naturais)- Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais. Instituto Nacional em Pesquisas da Amazônia . Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2008.
- ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 589-598, 2008.
- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n.22,v.6, p. 711-728, 2013
- ALVES, P. R. L.; CASSOL, P. B.; SEGANFREDO, M. A.; SPAGNOLLO, E. Contribuição da fauna do solo para os serviços ambientais. Produção intensiva de animais e serviços ambientais: estratégias e indicadores: Documentos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2020.
- ANDRÉ, A. I. D. **Ensaio de bait-lamina em comunidades epiedáficas de uma área mineira**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Toxicologia e Ecotoxicologia) – Programa de Pós-graduação, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008
- ANDRÉA, M.M. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta Zool. Mex.**, 2:97-107, 2010.

ANTONIOILLI, Zaida Inês et al. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 407-417, 2006.

ARAÚJO, E.A et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. **Soil Science Society of America**, p.123- 141, 1996. (Special publication, 49).

ASSESSMENT, Millennium Ecosystem. **Ecosystems and human well-being: wetlands and water**. World Resources Institute, 2005.

BALOTA, E. L.: Manejo e qualidade biológica do solo. Edição revisada, Londrina: Midiograf, 2018.

BARETTA, D. et al. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p. 108-117, 2006.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.

BARETTA, D.; FERREIRA, C.S.; SOUSA, J.P. & CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (*Hexapoda: Collembola*) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2693-2699, 2008.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; RIBEIRO, S.F. & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:715-724, 2005.

BARRA CARACCILO, A. et al. Changes in microbial community structure and functioning of a semiarid soil due to the use of anaerobic digestate derived composts and rosemary plants. **Geoderma**, v. 245–246, p. 89–97, 2015.

BARROS, C.E; FRANCO, F.S. Contribuições da cromatografia circular de Pfeiffer para análise da saúde do solo. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 31, n. 2, p. 395-413, 2022.

BARTZ, M.L.; PASINI, A. & BROWN, G.G. Earthworms from Mato Grosso, Brazil, and new records of species from the state. **Pesq. Agropec. Bras.**, 44:934-939, 2009.

BÉNÉ, C. et al. When food systems meet sustainability—Current narratives and implications for actions. **World Development**, v. 113, p. 116-130, 2019.

BEZERRA, L. P. **Implantação de sistemas agroflorestais na agricultura familiar: um caminho para a transição agroecológica**. 2018.118f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Reural). Pós-Graduação em

Agroecologia e Desenvolvimento Rural. Universidade Federal de São Carlos 2018. Araras.

BIRKHOFER, K. et al. Soil fauna feeding activity in temperate grassland soils increases with legume and grass species richness. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 2200-2207, 2011.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.

BURLE, E.C; FIGUEIREDO, R.T. Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 5, n. 2, p. 19-19, 2019.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **ELEMENTOS DA NATUREZA E PROPRIEDADES DOS SOLOS**. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Arquitetura e propriedades físicas do solo. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. Porto Alegre: Bookman, p. 106-145, 2013.

BRONICK, C.J; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

BROWN, G. G. et al. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta zoológica mexicana (nueva serie)**, n. Es1, p. 79-110, 2001.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (org.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 122–154.

BUNEMAN, E.K et al. Soil quality- A critical review. **Soil biology and Biochemistry**. V. 120, n. January. P 105-125, 2018.

CAO, X. et al. The optimal width and mechanism of riparian buffers for storm water nutrient removal in the Chinese eutrophic Lake Chaohu watershed. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 10, 2018.

CARDOSO E.J.B.N, et al. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Sci Agric**. 2013;70:274-89.

CASABÉ, N. et al. Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field. **Journal of Soils and Sediments**, v. 7, n. 4, p. 232-239, 2007.

CASARIL, C.E. et al. Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2019.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. **Inc, Publishers**, 1988.

COSTA, C. Z. et al. Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: Uma revisão. **Química Nova**, v. 38, n. 2, p. 259–267, 2015.

COLEMAN, D.C. & CROSSLEY Jr., D.A. Fundamentals of soil ecology. San Diego, Academic Press, 1996.

CHÁVEZ, L. F. et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1254–1261, 2011.

CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.

CLASSEN, A. T.; BOYLE, S. I.; HASKINS, K. E.; OVERBY, S. T.; HART, S. C. Community-level physiological profiles of bacteria and fungi: plate type and incubation temperature influences on contrasting soils. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 44, n. 3, p. 319–328, 2003.

CORRÊA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. 2011. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). Manejo ambiental na avicultura, 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 149).

COUSSEAU, L. et al. Levantamento de invertebrados epiedáficos em ambiente contaminado por chumbo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e189932738-e189932738, 2020.

DALY, A.; BAETENS, J.; De BAETS, B. Ecological Diversity: Measuring the Unmeasurable. **Mathematics**, v. 6, n. 7, p. 119, 2018.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1-21, 1994.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 88, n. 2, p. 119-127, 2002.

DOMÍNGUEZ, J. et al. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

ESPÍRITO-SANTO FILHO, K. **Efeito de distúrbios ambientais sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) e seu papel como bioindicador**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Biológicas Ciências, Zoologia). Pós-Graduação em Ciências Biológicas Zoologia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2005. Rio Claro

EVANGELISTA, C. R. et al. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1549–1562, 2013.

FAO, IFAD and WFP. 2013. The State of Food Insecurity in the World 2013. The multiple dimensions of food security. Rome, FAO.

FAVARATO, L.F. et al. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. 2016.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, n.1, p.69-116, 1997.

FERREIRA, E. P. de B.; STONE, L.; MARTIN-DIDONET, C. C. G.. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 22-31, 2017.

FIALHO, A. R. et al. Feeding activity of soil fauna in production systems under cover crop straws. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022.

FIGUEIREDO FILHO, D. B; JÚNIOR, J. A.S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FILZEK, P. D.B et al. Metal effects on soil invertebrate feeding: measurements using the bait lamina method. **Ecotoxicology**, v. 13, n. 8, p. 807-816, 2004.

FREITAS, L.D et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

GAI, X. et al. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. **PloS one**, v. 9, n. 12, p. e113888, 2014.

GATIBONI, L. C. et al. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia-preta, em sistema plantio direto. **Rev Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2009.

GATIBONI, L.C.; SMYTH, T.J.; SCHMITT, D.E.; CASSOL, P.C.; OLIVEIRA, C.M.B. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Lages: UDESC-CAV, 2014. 38p. (CAV-UDESC. Boletim técnico, 2).

GRAEUB, B. E.; CHAPPELL, M. J.; WITTMAN, H.; LEDERMANN, S.; KERR, R. B.; GEMMILL-HERREN, B. The state of family farms in the world. **World Development**, v. 87, p. 1-15, 2016.

GESLAIN-LANEELLE, C. Solos agrícolas: um trunfo para a segurança alimentar e o clima. **CULTIVAR Cadernos de Análise e Prospetiva**, p. 21–26, 2015.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: Processos ecológicos em Agricultura Sustentável. 4ª Edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 654, 2000.

GRACIANO, I, MATSUMOTO, L. S., PEIXOTO, E. C. T. M.. Evaluating Pfeiffer chromatography for its validation as an indicator of soil quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420-446, 2020.

GÓES, Q. R. de et al. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 123-144, 2021.

GONGALSKY, K. B.; PERSSON, T.; POKARZHEVSKII, A. D. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. **Applied Soil Ecology**, v. 39, n. 1, p. 84-90, 2008.

GOMES, S. S. et al/ Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, p. 30-37, 2015

GOMEZ, E.; FERRERAS, L.; TORESANI, S. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 13, p. 1484–1489, 2006..

HAMEL, C. et al. Evaluation of the “bait-lamina test” to assess soil microfauna feeding activity in mixed grassland. **Applied soil ecology**, v. 36, n. 2-3, p. 199-204, 2007.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4(1), n. 1, p. 1–9, 2001.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, Walter K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and tillage research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HATT, S. et al. Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, v. 20, n. Special issue 1, 2016.

HEGER, T. J.; IMFELD, G.; MITCHELL, E. A.D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology**, n. 49, p. 1-4, 2012.

HERNÁNDEZ, R.A. et al. Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. **Terra Latinoamericana**, v. 39, 2021.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Produção Agrícola Municipal 2020**. 2020

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO-18311: soil quality-method for testing effects of soil contaminants on the feeding activity of soil dwelling organisms – Bait- lamina test. Geneva, 2016.

JESUS, E. da C. et al. Influence of corn, switchgrass, and prairie cropping systems on soil microbial communities in the upper Midwest of the United States. **Gcb Bioenergy**, v. 8, n. 2, p. 481-494, 2016.

JEZIERSKA-TYS, S. et al. Biological activity and functional diversity in soil in different cultivation systems. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 10, p. 4189–4204, 2020.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L. et al. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. **Soil and Tillage Research**, v. 130, p. 24-41, 2013.

KRATZ, W. The bait-lamina test: general aspects, applications and perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 5, p. 94-96, 1998.

KEDI, B. et al. Persistence of catalytic activity of fungal phosphatases incubated in tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 56, p. 69-74, 2013.

KLIMEK, B.; NIKLIŃSKA, M.; JAŻWA, M.; CHODAK, M. et al/ Application of the bait-lamina method to measure the feeding activity of soil fauna in temperate forests. **Polish Journal of Ecology**, Warsaw, v. 63, n. 3, p. 291-300, 2015

KINDT, R.; COE, R. **Tree diversity analysis: a manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies**. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2005. 196 p.

KOPITTKKE, P. M. et al. Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment international**, v. 132, p. 105078, 2019.

KOKORNACZYK, M.O et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 33, n. 3, p. 143-157, 2017.

LAVELLE, P. et al. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. **Biotropica**, p. 130-150, 1993.

LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology (France)**, 1997.

LAWRENCE, J.F.; BRITTON, E.B. Coleoptera. In: **CSIRO (ed.). The insects of Australia**. New York. Cornell University, 1991.v.2, p.543-683.

LIMA, M. S. C. S.; SOUZA, C. A. dos S.; PEDERASSI, J. Qual índice de diversidade usar? **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 30, p. 129-138, 2016.

LOPES, P.R.; LOPES, K.C. S. A.. Sistemas de produção de base ecológica—a busca por um desenvolvimento rural sustentável. **REDD—Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 4, n. 1, 2011.

LOPES, A.A.D.C et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

LOWERY, B. Soil water parameters and soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. Cap.8, p.143-155.

MAAß, S.; CARUSO, T.; RILLIG, M. C. Functional role of microarthropods in soil aggregation. **Pedobiologia**, v. 58, n. 2-3, p. 59-63, 2015.

MALÉZIEUX, E. Designing cropping systems from nature. **Agronomy for sustainable development**, v. 32, n. 1, p. 15-29, 2012.

MAY, P. H. et al. Manual agroflorestal para a Mata Atlântica. **Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário**, v. 195, 2008.

MELO, A. S.; ALEGRE, P. O que ganhamos “confundindo” riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21–27, 2008.

MELO, D. M. A. et al. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista craibeiras de agroecologia**, v. 4, n. 1, p. e7653-e7653, 2019.

MELO, D.M.A. **Qualidade de solos em agroecossistemas camponeses no território da borborema-PB**.2020.50f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia), Univerisade Federal da Paraíba. 2020. Bananeiras.

MELO, F.V.; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, J.W. & ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadora. **B. Inf. SBCS**, 34:38-40, 2009.

MENDES, I. de C. et al. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

MIRANDA, A. A. C.; SALLA, L. M. X.; ARAÚJO, A.E.: Uso da Cromatografia de Pfeiffer como indicador de qualidade do solo: monitoramento do manejo agroecológico da UR-MECA/UFPB. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 – Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF – Vol. 13, N° 1, Jul. 2018.

MIKI, T.; YOKOKAWA, T.; KE, P.-J.; HSIEH, I.-F.; HSIEH, C.; KUME, T.; YONEYA, K.; MATSUI, K. Statistical recipe for quantifying microbial functional diversity from EcoPlate metabolic profiling. **Ecological Research**, v. 33, n. 1, p. 249–260, 2018.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap.1, p.1-6.

MONTEIRO, R. C.; MOUND, L. A. Thysanoptera. In RAFAEL, J. A; MELO, G.A.R; CARVALHO, C. J.B; CASARI, S.A; CONSTANTIO, R. (Ed). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto, Holos Editora, 810p, p. 407-422, 2012

MORAES, et al. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In: TIECHER, T. (org). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil**: práticas alternativas visando a conservação do solo e da água. Porto alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

MORRIS, E. K.; CARUSO, T.; BUSCOT, F.; FISCHER, M.; HANCOCK, C.; MAIER, T. S.; MEINERS, T.; MÜLLER, C.; OBERMAIER, E.; PRATI, D.; SOCHER, S. A.; SONNEMANN, I.; WÄSCHKE, N.; WUBET, T.; WURST, S.; RILLIG, M. C. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. **Ecology and Evolution**, v. 4, n. 18, p. 3514–3524, 2014.

MOTAVALLI, P. et al. Global achievements in sustainable land management. **International Soil and water conservation research**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2013.

MONTEIRO, R. C.; MOUND, L. A.; ZUCCHI, R. A. Espécies de F. (Thysanoptera: Thripidae) de importância agrícola no Brasil. **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 65-72, 2001.

MUSSO, C. et al. Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the “bait-lamina test”. **Plant and soil**, v. 383, n. 1, p. 49-58, 2014.

NIVA, C. C.; et al. Método bait lamina para a avaliação da atividade alimentar de invertebrados edáficos: eficiência, limitações e adaptações para seu uso. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021

NOCE, M. A. et al. Influência da palhada de gramíneas forrageiras sobre o desenvolvimento da planta de milho e das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 03, 2008.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 655-663, 2003.

NYÉLÉNI, M.. Declaration of the international forum for agroecology. **International Planning Committee for Food Sovereignty. Consultado o**, v. 18, 2015.

OEST, A. et al. Patterns of change in metabolic capabilities of sediment microbial communities in river and lake ecosystems. **International Journal of Microbiology**, v. 2018, 2018

OLIVEIRA, H.C. et al. Diagnóstico ambiental da utilização da terra e de implicações ecológicas em microbacia da Serra do Teixeira, Patos (PB). **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 14, n. 4, p. 170-184, 2019.

OLIVEIRA S.M et al. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

PAULA, A.; TURETTA, D.; POLIDORO, J. C. Solos, sustentabilidade e provisão de serviços ecossistêmicos. **Boletim Informativo Da Sbc**, p. 26–30, 2017.

PASQUALIN, L. A. et al. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná–Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 7-17, 2012.

PESSOTTO, M. D. F.; SANTANA, N. A.; JACQUES, R. J. S.; FREIBERG, J. A. *et al* Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 397-402, 2020

PIAN, L.B. **Fertilização de Origem Vegetal em Atributos do Solo e no desempenho Agroeconomico de Hortaliças em Sistema Orgânico**. 2019. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciências do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.2019

PILON, L. C.; CARDOSO, J. H.; MEDEIROS, F. S. Guia prático de cromatografia de Pfeiffer. **Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E)**, 2018.

PINHEIRO, S.. **Saúde do Solo: Biopoder camponês versus agronegócio**. Rio Grande do Sul: Salles Editora, 2015.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C.; ROSSELLO, R. D. Ecologia das plantas daninhas no sistema de plantio direto. In: ROSSELLO, RD Siembra directa en el cono sur. Montevideo: PROCISUR, p. 203-210, 2001.

PODGAISKI, L. R; SILVEIRA, F. S; MENDONÇA JÚNIOR, M. S. Avaliação da atividade alimentar dos invertebrados de solo em campos do sul do Brasil - Bait-Lamina Test. **Entomo Brasilis**, v. 4, n. 3, p. 108-113, 2011.

POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina-Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, 2016.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002.

PRIMAVESI, A; PRIMAVESI, A. A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas: nutrição e produção vegetal. **São Paulo: Expressão Popular**, 2018.

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (ed.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, p. 810, 2012.

RAMOS, M. R. et al. Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. **Agri-environmental sciences**, v. 3, n. 1, p. 37-41, 2017.

RAZERA, R., et al. Avaliação da qualidade do solo em manejo agroflorestal utilizando cromatografia circular de pfeiffer e indicadores microbiológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia** , v. 16, n.1, p.169-182, 2021.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBON, A.A; FILHO, J.T. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.

RIVERA, J. R., PINHEIRO, S. **Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Impresora Ferida, 2015.

RODRÍGUEZ, A.H et al. Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. **Terra Latinoamericana**, v. 39, 2021.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: EMBRAPA, 2010

ROŽEN, A. et al. Soil faunal activity as measured by the bait-lamina test in monocultures of 14 tree species in the Siemianice common-garden experiment, Poland. **Applied Soil Ecology**, v. 45, n. 3, p. 160-167, 2010.

SALA, M. M.; ESTRADA, M.; GASOL, J. M. Seasonal changes in the functional diversity of bacterioplankton in contrasting coastal environments of the NW Mediterranean. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 44, n. 1, p. 1–9, 2006.

SADAVA, D., Heller, H.C., Orians, G.H., Purves, W.K., Hillis, D.M.,. Vida: a ciência da biologia. 8 ed. v. II. **Artmed**, Porto Alegre.2009.

SANTILLI, J.. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. Editora Peirópolis LTDA, 2009.

SAAVEDRA, T.M; FIGUEROA, G.A; CABALLERO, V.P. Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 9, n. 3, p. 665-673, 2018.

SCHOONOVER, J. E.; CRIM, J. F. An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 154, n. 1, p. 21-47, 2015.

SILVA, A. J. N.; Cabeda, M. S. V.; Lima, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A. P. et al. Microbial biomass under various soil-and crop-management systems in short-and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 20-26, 2010.

SILVA, D. A. et al. Bioindicadores de qualidade edáfica em diferentes usos do solo. **Enciclopedia biósfera**, v. 11, n. 22, 2015.

SILVA, D. M. et al. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1585-1594, 2015.

SIQUEIRA, I. **Avaliação da fertilidade e vitalidade do solo pela cromatografia de Pfeiffer e seu potencial para motivar manejos agroecológicos**. 2016. 37f. Monografia (Trabalho de conclusão de especialização lato sensu). Pós - graduação em agricultura familiar e educação no campo, UFSM, Santa Maria, RS, 2016

SIQUEIRA, J.B. **Uma metodologia de auxílio à interpretação da qualidade do solo por meio da cromatografia de Pfeiffer**.2018.69f. Monografia em Engenharia Florestal. Universidade Federal de São Carlos: Sorocaba. 2018.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994.

SOUTO, P. C. et al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SOFO, A.; RICCIUTI, P. A standardized method for estimating the functional diversity of soil bacterial community by Biolog® EcoPlates™ assay: the case study of a sustainable olive orchard. **Applied Sciences**, v. 9, n. 19, p. 4035, 2019.

SONMEZ, O.; PIERZYNSKI, G. M. Changes in soil phosphorus fractions resulting from crop residue removal and phosphorus fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 8, p. 929-935, 2017.

SOUZA, G. S,de; DAN, M. L.; ARAÚJO, J.B. S.. Qualidade física do solo sob caféiro conilon consorciado e em monocultivo. **Coffe Science**, v,11, n.2, p180-186, 2016.

STONE, D.; RITZ, K.; GRIFFITHS, B. G.; ORGIAZZI, A.; CREAMER, R. E. Selection of biological indicators appropriate for European soil monitoring. *Applied Soil Ecology*, v. 97, p. 12–22, 2016.

SWIFT, M.J. et al. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Univ. of California Press, 1979.

TAO, R. et al. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 42-51, 2015.

TENG, Z. et al. Monitoring soil microorganisms with community-level physiological profiles using Biolog EcoPlates™ in Chaohu lakeside wetland, east China. **bioRxiv**, 2019.

TIAN, S. et al. Crop yield and soil carbon responses to tillage method changes in North China. **Soil and Tillage Research**, v. 163, p. 207-213, 2016.

TIEMANN, L. K. et al. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. **Ecology letters**, v. 18, n. 8, p. 761-771, 2015.

TILLING, S. M. **A key to the major groups of British terrestrial invertebrates**. 2.ed. Telford: Field Studies Council (FSC),2014.84p.

TIQUIA, S. M. et al. Halophilic and halotolerant bacteria from river waters and shallow groundwater along the rouge river of Southeastern Michigan. **Environmental Technology**, v. 28, n. 3, p. 297–307, 2007.

TOADER, M.; ROMAN, G. V. Family farming—examples for rural communities development. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 6, p. 89-94, 2015.

TÖRNE, E. von et al. Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests. **Pedobiologia**, v. 34, n. 2, p. 89-101, 1990.

TRINDADE-SANTOS, M. E.; CASTRO, M. S. MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO:CHAVE PARA O PROCESSO DE TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 12-12, 2021.

TULLY, K. L.; LAWRENCE, D.. Canopy and leaf composition drive patterns of nutrient release from pruning residues in a coffee agroforest. **Ecological Applications**, v. 22, n. 4, p. 1330-1344, 2012.

VELIMIROV, A. et al. Feeding trials in organic food quality and health research. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 2, p. 175–182, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J.. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 673-684, 2015.

VILARDO, G. et al. Soil arthropod composition differs between old-fields dominated by exotic plant species and remnant native grasslands. **Acta Oecologica**, v. 91, p. 57-64, 2018.

VIEIRA, R.F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. **Embrapa Meio Ambiente-Livro científico (ALICE)**, 2017.

VONG, P.C.et al. Immobilized-S, microbial biomass-S and soil arylsulfatase activity in the rhizosphere soil of rape and barley as affected by labile substrate C and N additions. **Soil biology and biochemistry**, v. 35, n. 12, p. 1651-1661, 2003.

WEI, D. et al. Bacterial Community Structure and Diversity in a Black Soil as Affected by Long-Term Fertilization. **Pedosphere**, v. 18, n. 5, p. 582–592, 2008

WEZEL, A. et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 34, n. 1, p. 1-20, 2014.

WITTEWER, R.A. et al. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.

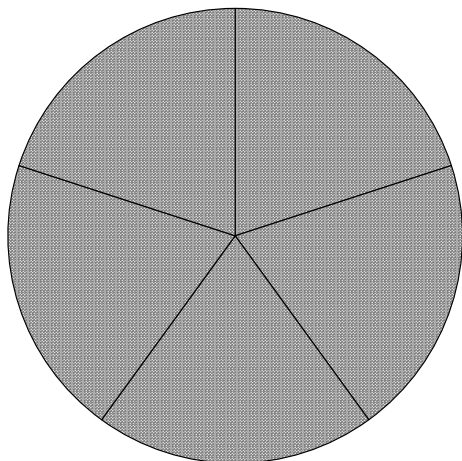
WU, P.; WANG, C.. Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: the significance for soil fauna diversity monitoring. **Geoderma**, v. 337, p. 266-272, 2019.

ZANELLA, M. A. et al. Discussion: Food security and sustainable food systems: The role of soil. **International soil and water conservation research**, v. 3, n. 2, p. 154-159, 2015.

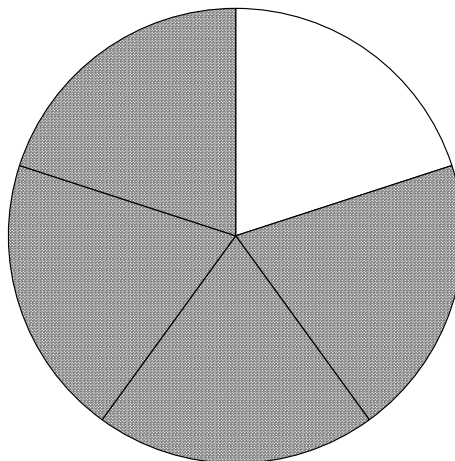
ZUBER, S. M. et al. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 147-155, 2017.

Apêndice B – Gabarito da escala de notas utilizada para inferir o consumo alimentar em cada um dos orifícios da bait-lamina.

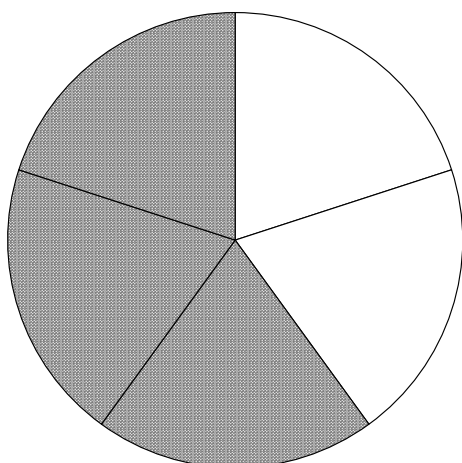
Nota 0 - Sem consumo (0%)



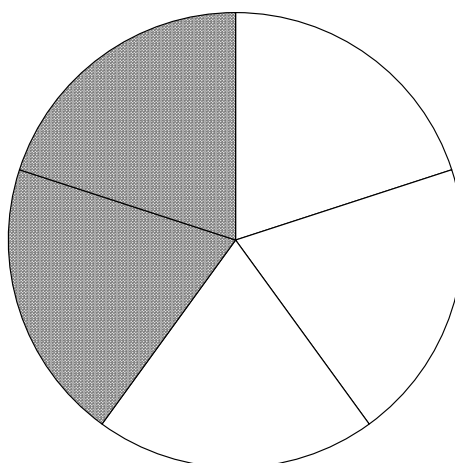
Nota 1 - Pouco consumo ($\pm 20\%$)



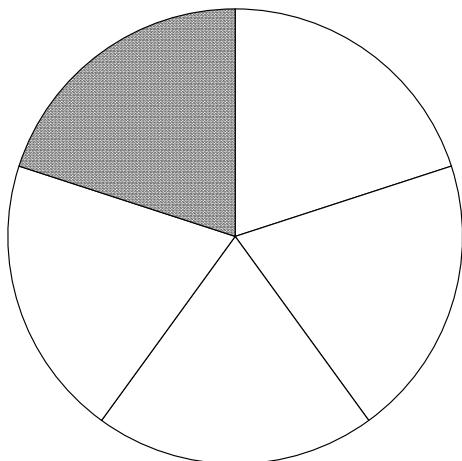
Nota 2 - Consumo médio ($\pm 40\%$)



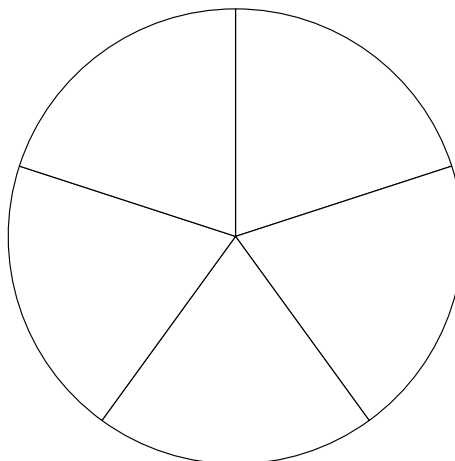
Nota 3 - Consumo médio ($\pm 60\%$)



Nota 4 - Bastante consumo ($\pm 80\%$)



Nota 5 - Consumo total (100%)



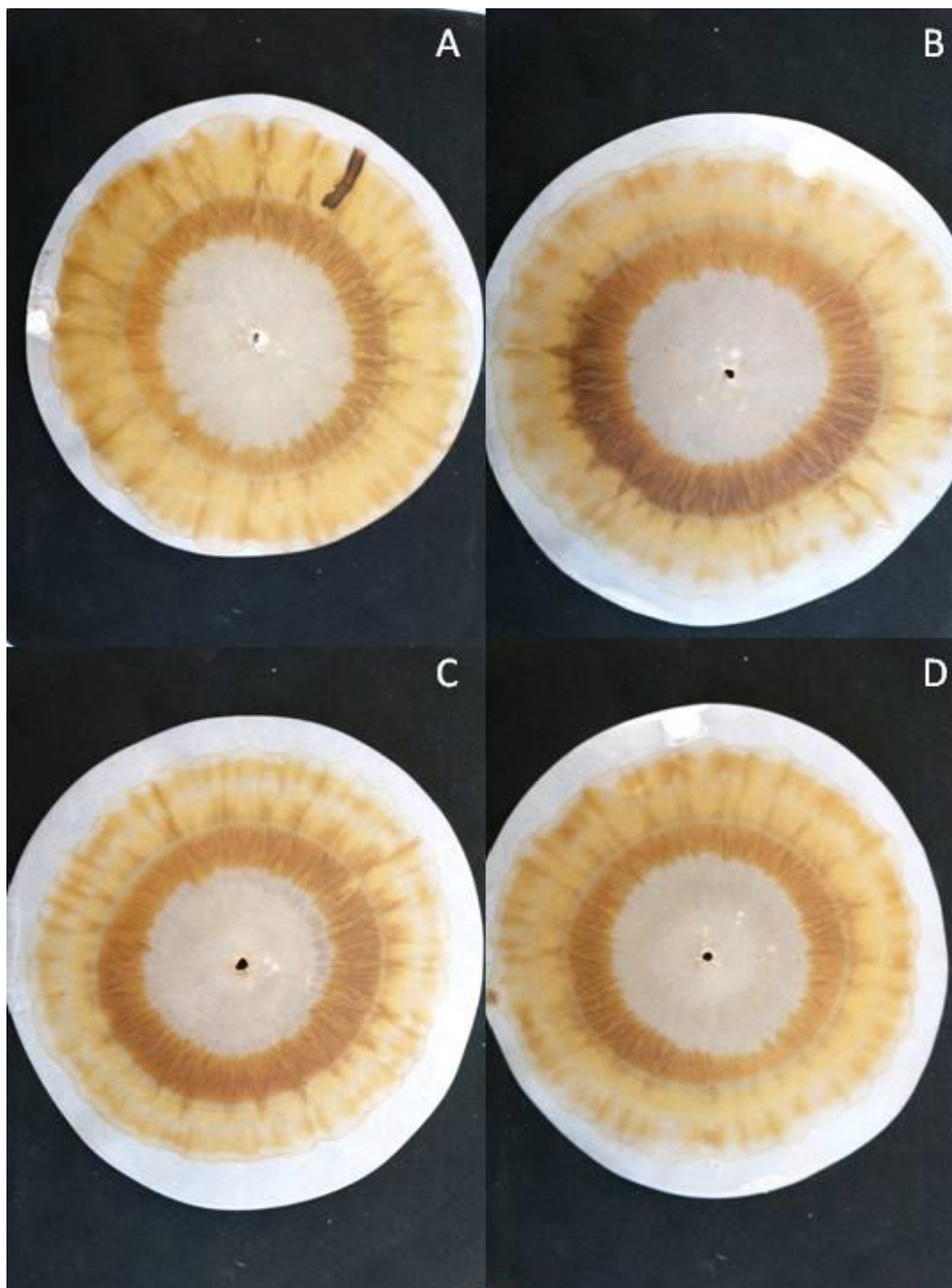
Apêndice C – Valores do coeficiente de correlação (r) e p-valor da avaliação quantitativa do cromatograma circular de Pfeiffer (CCF) e das respectivas zonas de avaliação

	CCF		Zona central		Zona interior		Zona intermediária		Zona externa	
	r	p-valor	r	p-valor	r	p-valor	r	p-valor	r	p-valor
Argila	-0.89	3.2E-06	-0.88	7.7E-06	-0.59	0.0159	-0.88	7.5E-06	-0.86	1.7E-05
pH	0.44	0.0918	0.48	0.0569	0.30	0.2650	0.40	0.1300	0.37	0.1620
Alumínio	-0.46	0.0725	-0.56	0.0230	-0.42	0.1010	-0.32	0.2300	-0.30	0.2640
Saturação por bases	0.51	0.0440	0.59	0.0159	0.49	0.0537	0.40	0.1270	0.29	0.2680
Matéria orgânica	0.76	0.0006	0.67	0.0045	0.77	0.0005	0.73	0.0012	0.56	0.0251
Fósforo	0.80	0.0002	0.78	0.0003	0.71	0.0023	0.74	0.0011	0.61	0.0115
Potássio	0.60	0.0148	0.53	0.0364	0.73	0.0015	0.48	0.0608	0.39	0.1390
Cálcio	0.52	0.0387	0.49	0.0563	0.58	0.0173	0.49	0.0562	0.28	0.2970
Magnésio	0.57	0.0200	0.51	0.0438	0.61	0.0121	0.56	0.0241	0.36	0.1690
CTC	0.57	0.0205	0.51	0.0459	0.64	0.0077	0.55	0.0272	0.33	0.2050
Riqueza da edafofauna	-0.29	0.2820	-0.27	0.3140	-0.33	0.2160	-0.14	0.6000	-0.29	0.2700
Abundância da edafofuna	0.02	0.9330	-0.10	0.7180	0.00	0.9890	0.18	0.5120	0.04	0.8850

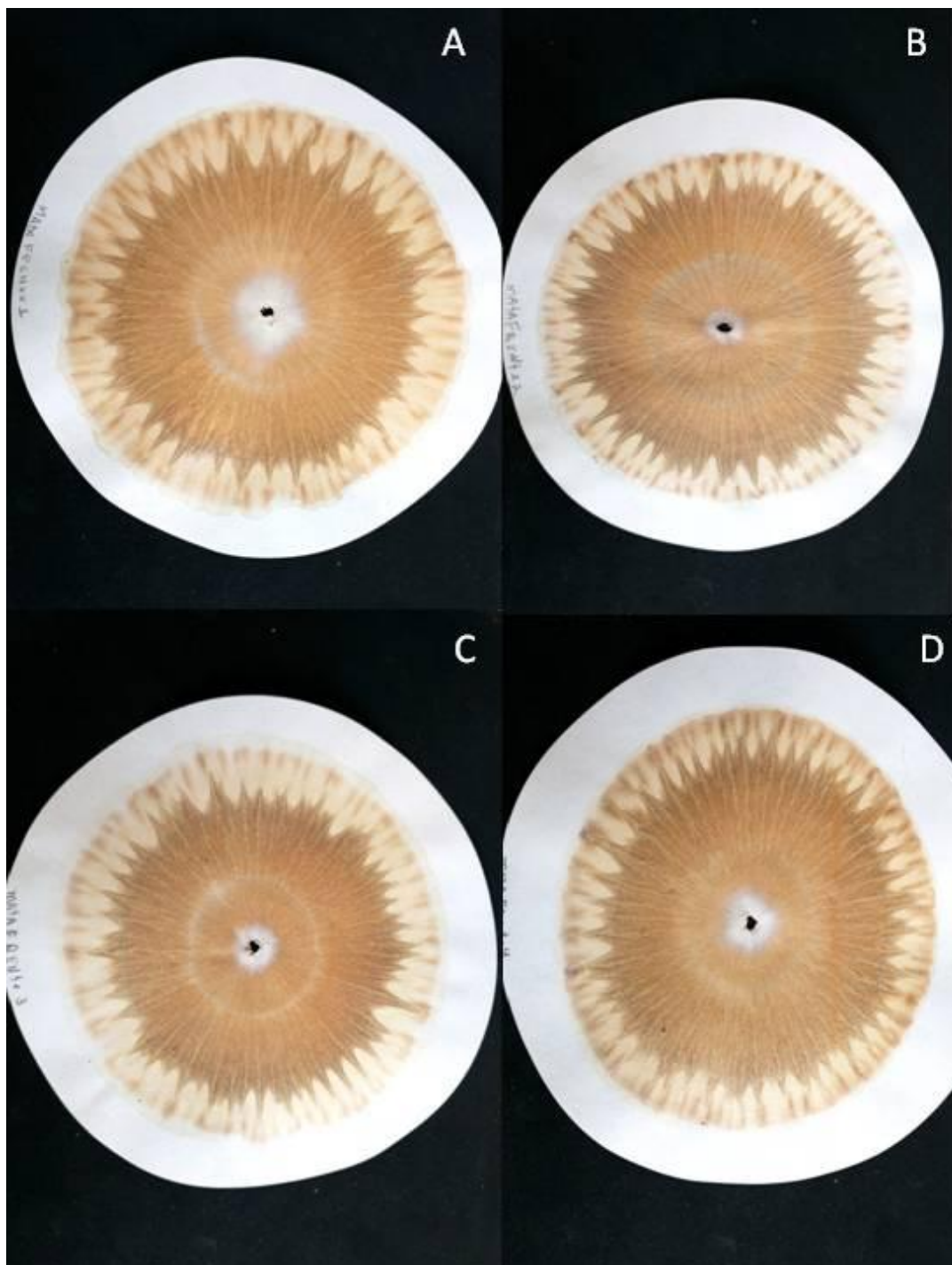
Apêndice D – Abundância absoluta e relativa dos organismos coletados nas duas áreas analisadas.

Ordem ou grupo taxonômico	Mandioca (n=8)		Floresta (=8)		Total (n=16)	
	Abundância	%	Abundância	%	Abundância	%
Collembola	995	47.52	1496	61.26	2491	54.92
Diptera	786	37.54	456	18.67	1242	27.38
Coleoptera	148	7.07	211	8.64	359	7.91
Amphipoda	18	0.86	103	4.22	121	2.67
Thysanoptera	28	1.34	54	2.21	82	1.81
Hymenoptera	15	0.72	29	1.19	44	0.97
<i>Larva</i>	18	0.86	19	0.78	37	0.82
Orthoptera	28	1.34	3	0.12	31	0.68
Araneae	13	0.62	16	0.66	29	0.64
Hemiptera	18	0.86	8	0.33	26	0.57
Trombiforme	3	0.14	20	0.82	23	0.51
Dermapter	0	0.00	20	0.82	20	0.44
Blattodea	12	0.57	3	0.12	15	0.33
Pulmonata	9	0.43	1	0.04	10	0.22
<i>Lagarta</i>	0	0.00	2	0.08	2	0.04
Seriata	2	0.10	0	0.00	2	0.04
Haplotaxida	1	0.05	0	0.00	1	0.02
Pseudoescorpiones	0	0.00	1	0.04	1	0.02
Total	2094		2442		4536	

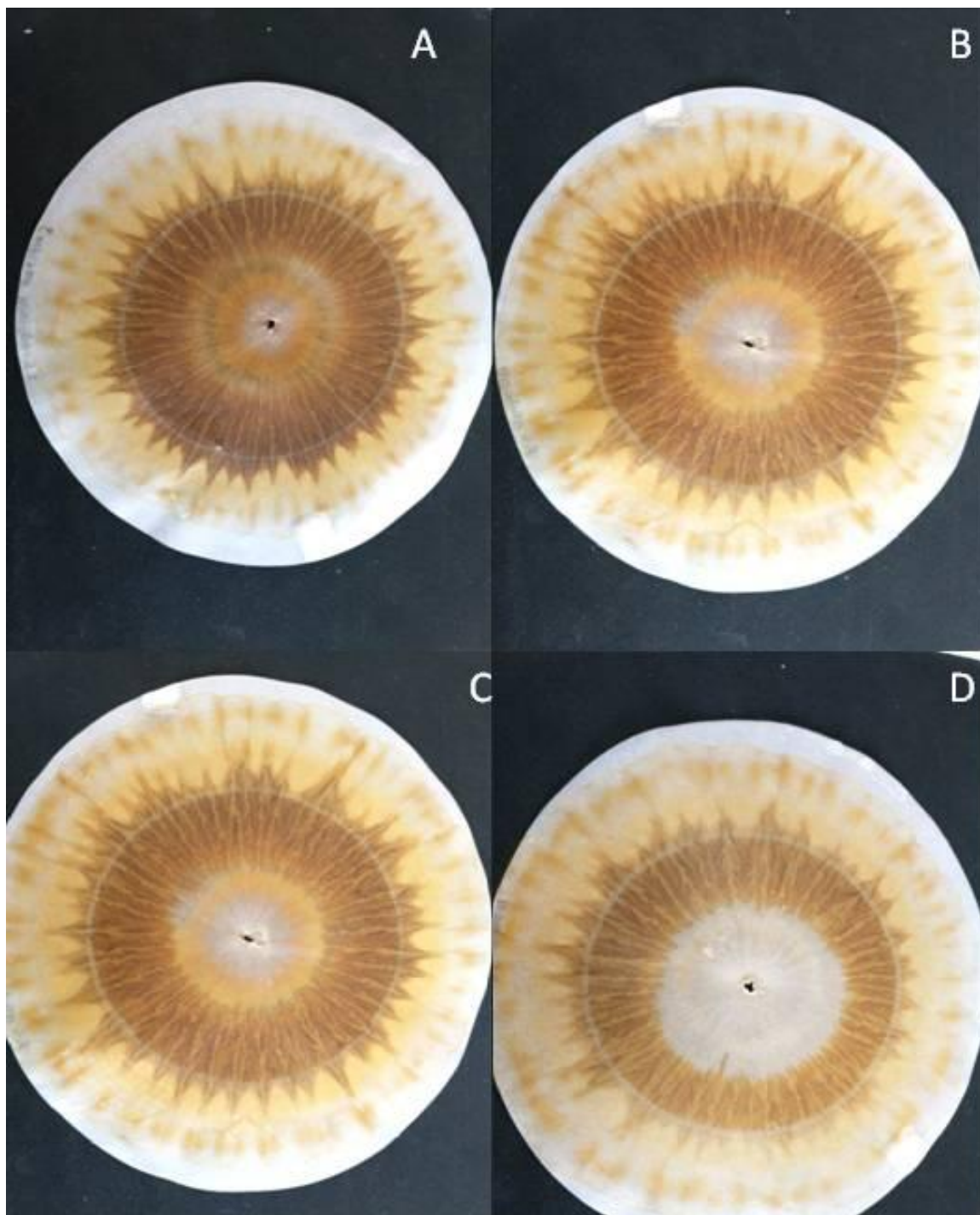
Apêndice E- Cromatografias da área de Mandioca A, mandioca 1.1(A), 1.2(B),1.3(C),1.4(D) respectivamente.



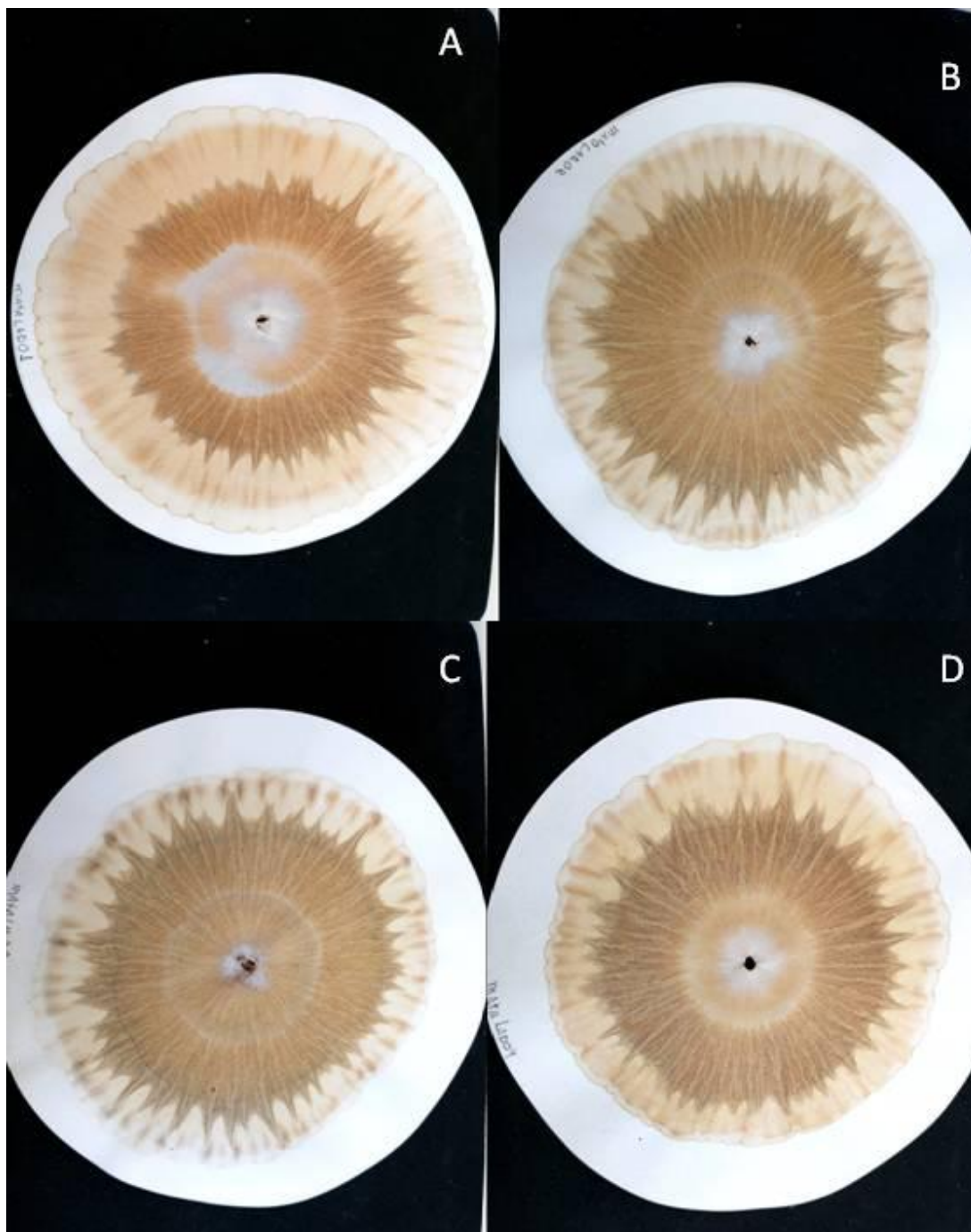
Apêndice F- Cromatografia da área A de Floresta: Frente 1.1 (A), Floresta Frente 1.2 (B), Floresta Frente 1.3 (C), Floresta Frente 1.4 (D).



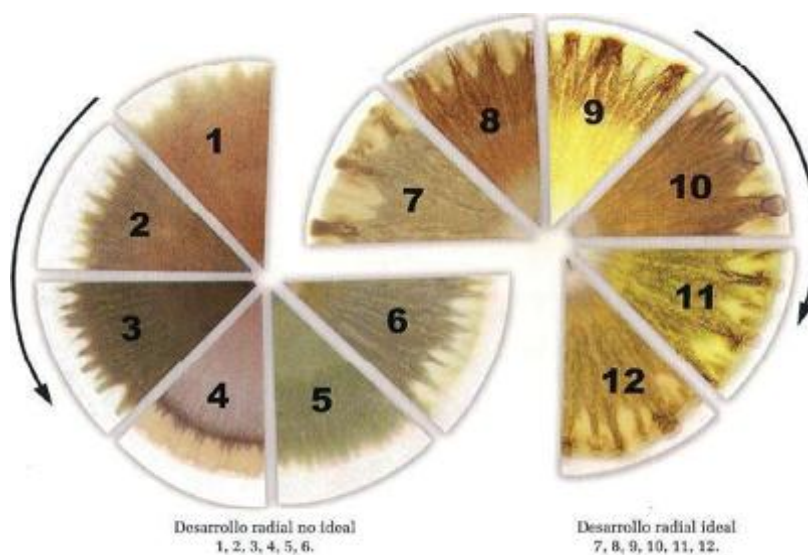
Apêndice G- Cromatografia da área B de cultivo de mandioca: Mandioca 2.1(A), Mandioca 2.2(B), Mandioca 2.3(C), Mandioca 2.3 (D).



Apêndice H - Cromatografia da área A de Floresta: Floresta Lado 1.1 (A), Floresta Lado 1.2 (B), Floresta Lado 1.3 (C), Floresta Lado 1.4 (D).



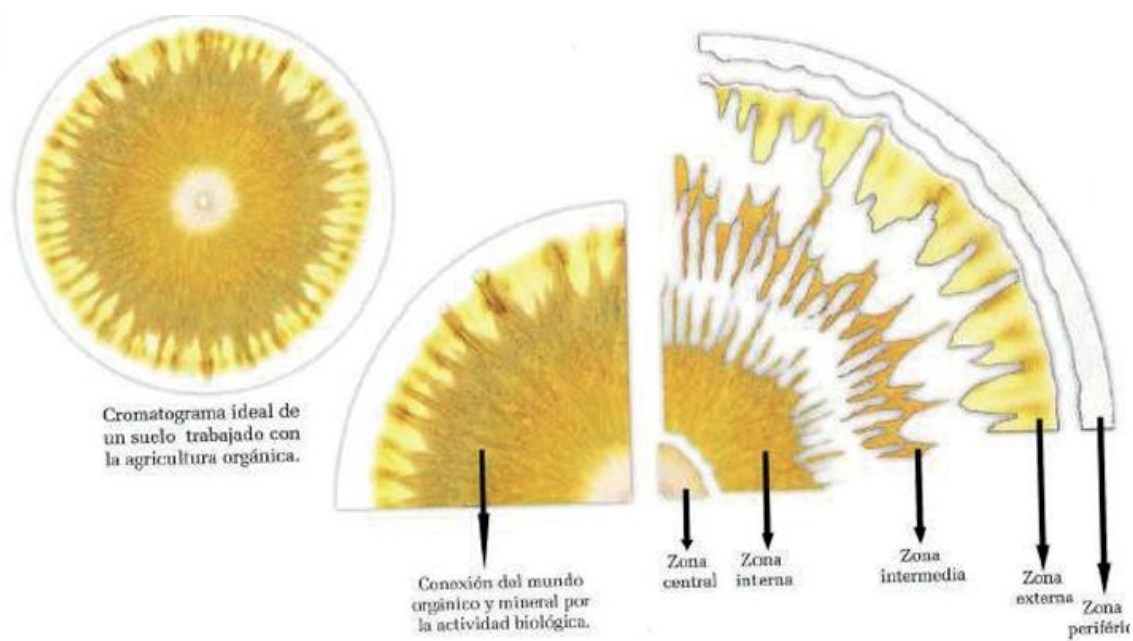
Apêndice I- Padrões da Cromatografia de Pfeiffer que são considerados desejáveis e indesejáveis



Apêndice J- Cores ideais de um cromatograma que refletem a boa saúde do solo



Apêndice K- Divisão das zonas do cromatograma



Apêndice L- As seis características diferentes das terminações dos dentes da zona externa (ZE) de um cromatograma

